ifm electronic

Optimierung und Lösung von technischen Abläufen durch Sensorik, Kommunikations- und Steuerungssysteme

Schulungsunterlagen

efector150 efector160

Kapazitive Sensoren und Füllstandsensoren

Schulungsunterlagen Kapazitive Sensoren und Füllstandsensoren, V1.5

Hinweis zur Gewährleistung:

Sämtliche auf diesem Datenträger veröffentlichten Daten sind geistiges Eigentum der ifm bzw. wurden uns teilweise von Kunden oder Lieferanten zur exklusiven Nutzung überlassen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass jedwede Verwertung (insbesondere Vervielfältigung, Verbreitung und Ausstellung) sowie Bearbeitung oder Umgestaltung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung durch ifm zulässig ist.
Diese Schulungsunterlagen wurden unter Beachtung der größtmöglichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl kann keine Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts übernommen werden.
Da sich Fehler trotz intensiver Bemühungen nie vollständig vermeiden lassen, sind wir für Hinweise jederzeit dankbar.
ifm electronic gmbh, Abteilung VTD-STV, Teichstr. 4, 45127 Essen, Tel.: 0201/2422-0,
Internet: www.ifm.com

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

1.1 Sensoren in industriellen Prozessen 5
1.2 Kapazität 7
1.3 Dielektrizitätskonstante 9

2 Eigenschaften kapazitiver Sensoren 12

2.1 Vergleich 12
2.1.1 Einordnung 12
2.1.2 Systeme zur Füllstandskontrolle 13
2.2 Technik und Funktionsprinzip 17
2.2.1 Elementarsensor kapazitiv 17
2.2.2 Signalerzeugung 19
2.2.3 Auswertung 21
2.3 Praktischer Einsatz 22
2.3.1 Schaltabstand 22
2.3.2 Hysterese 24
2.3.3 Korrekturfaktoren 24
2.3.4 Kompensation der Umgebung 25
2.3.5 Schaltzeiten und Schaltfrequenz 27
2.3.6 Hinweise zum praktischen Einsatz 27
2.4 Montagehinweise 28
2.4.1 Bündig / Nicht bündig 28
2.4.2 Gegenseitige Beeinflussung 29
2.4.3 Mechanische Festigkeit 30
2.5 Analoge Füllstandsensoren 31
2.5.1 Technik und Funktionsprinzip 31
2.5.2 Praktischer Einsatz 33
2.5.3 Montagehinweise 34
2.6 Bauform LI 35

3 Kapazitive Sensoren der ifm 36

3.1 Mechanischer Aufbau 36
3.2 Bauformen 39
3.3 Elektrische Daten 40
3.3.1 Wichtige Parameter 40
3.3.2 Übersicht 41
3.4 Einstellung des Schaltpunktes (binär) 42
3.5 Analoge Füllstandssensoren 44
3.5.1 Bauform und mechanische Eigenschaften 44
3.5.2 Display 45
3.5.3 Programmierung 46
3.5.4 Elektrische Daten und weitere Eigenschaften 47
3.5.5 Hinweise zum praktischen Einsatz 49

3.6 Zulassungen 50
3.7 Schalter mit speziellen Eigenschaften 51
3.7.1 Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen 51
3.7.2 Quadronormgeräte 52
3.7.3 Sonderbauformen 52
3.8 Kriterien für die Praxis 52
4 Applikationsbeispiele 55
4.1 Übersicht 55
4.2 Beispiele 56
5 Anhang 57
5.1 Pluspunkte 57
6 Typenschlüssel 58
7 Kleines technisches Lexikon 58

1 Einleitung

1.1 Sensoren in industriellen Prozessen

wozu?

In automatisierten Produktionsabläufen ist der Einsatz von Sensoren als Informationsgeber Voraussetzung. Sie senden die notwendigen Signale über Positionen, Endlagen, Füllstände, oder dienen als Impulsgeber. Ohne zuverlässig arbeitende Sensoren ist die beste Steuerung nicht in der Lage, Prozesse zu kontrollieren.

Generell bestehen all diese Sensoren aus zwei Komponenten: Die erste registriert die Änderung physikalischer Zustände (Elementarsensor), die zweite setzt die Signale des Elementarsensors in elektrische Ausgangssignale um (Signalverarbeitung).

Man unterscheidet allgemein zwischen so genannten binären Sensoren, die ein eindeutiges High-Low Signal schalten, und so genannten analogen Sensoren, die vorzugsweise in der Messtechnik zur Temperatur-, Weg-, Druck-, Kraftmessung usw. eingesetzt werden. Hierbei gibt der Sensor ein analoges Signal ab, welches zur Messung und Regelung weiter ausgewertet wird.

Sensor

Die Abbildung zeigt das allgemeine Schema, das im Prinzip auf jeden Sensor zutrifft. Unterschiede gibt es nur im Detail, z. B. wenn einzelne Komponenten nicht vorkommen oder nicht zu trennen sind. Manchmal wird auch der Elementarsensor kurz als Sensor bezeichnet. Dann muss auf den Zusammenhang geachtet werden, ob das ganze Gerät oder der Elementarsensor gemeint ist. Manche Geräte bestehen auch aus getrennten Komponenten, z. B. NAMUR-Sensoren oder häufig auch Temperatursensoren. Hier wird der Messwertaufnehmer an eine separate Auswerte- oder Verstärkereinheit angeschlossen

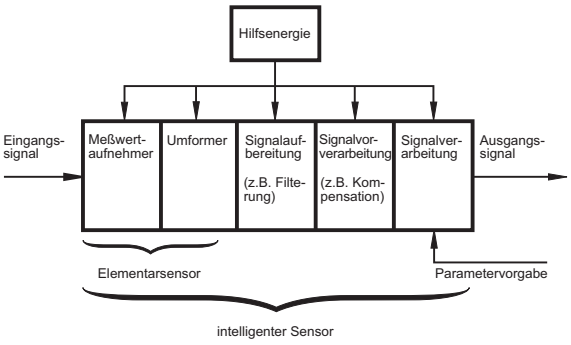


Abbildung 1: Struktur eines Sensors

intelligent

Ein Sensor, der nur eine binäre Information liefert, Objekt erkannt (Füllstand erreicht), bzw. Objekt nicht erkannt (Füllstand nicht erreicht), wird im Allgemeinen noch nicht als intelligent bezeichnet. Man spricht von einem intelligenten Sensor, wenn er in der Lage ist, zusätzliche Informationen zu liefern, z. B.:

- Objekt sicher erkannt oder
- Objekt unsicher erkannt.

Ein analoger Sensor liefert natürlich auch mehr Informationen.

ist Füllstand = Niveau?

Im Prinzip ist dasselbe gemeint. Es wurden binäre Sensoren entwickelt, die speziell zu Kontrolle von Füllständen ausgelegt wurden. Diese werden auch als Niveauschalter bezeichnet. Sie sollen im Folgenden als binäre Füllstandsensoren bezeichnet werden.
Eine neue Sensorfamilie arbeitet analog. Zur leichteren Unterscheidung, um Missverständnisse zu vermeiden, sollen sie als analoge Füllstandsensoren bezeichnet werden (siehe 2.5).

In diesem Text werden also binäre Sensoren als Positionsschalter und Füllstandsensoren sowie analoge Füllstandsensoren als Sensoren, die einen Messwert erzeugen, behandelt. Er soll einen Überblick geben über die Wirkungsweise, die Eigenschaften und die Kriterien für den Einsatz des kapazitiven Sensorsystems.
Weiterhin soll er über typische Anwendungen informieren und jeweils geeignete Bauformen aufzeigen, um damit dem Anwender die Auswahl des für ihn und für seinen Einsatzfall geeigneten Gerätes zu erleichtern. Für diese Sensoren gibt es viele Namen: Näherungsschalter, Initiator, Sensoren, berührungsloser Positionsgeber; aber auch herstellertypische Namen wie z. B. efector (eingetragenes Warenzeichen der Firma ifm electronic gmbh) werden verwendet.
Genormt ist jedoch der Begriff Näherungsschalter für die binären Sensoren. Im Folgenden wird der Begriff Sensor verwendet.

Im industriellen Einsatz hat sich für viele Anwendungen ein System bewährt: kapazitive Sensoren. Dieses Sensorsystem ist für die berührungslose Erfassung der verschiedensten Materialien geeignet.

Der neue analoge Füllstandsensor arbeitet auch nach dem kapazitiven Prinzip. Er muss jedoch in das Medium eintauchen, nach Bedarf auch mit einer Schutzhülle. Bei der Erzeugung und Auswertung des Messsignals gibt es hier Unterschiede, die unten erläutert werden.

Die ifm produziert seit über 30 Jahren berührungslos arbeitende kapazitive Sensoren. Da die Geräte überall in Industriebetrieben eingesetzt werden, muss das wohl einen Grund haben. Was macht diese Geräte und speziell die efectoren so erfolgreich?

Viele Erfahrungen der vergangenen Jahrzehnte haben zu immer weiteren Verbesserungen geführt. Seit mehr als 20 Jahren gibt die ifm 5 Jahre Garantie auf Standardgeräte.
Ein vorher nicht gekanntes Maß an Zuverlässigkeit hat dazu geführt, dass sich der kapazitive Sensor in der aktuellen Technik durchgesetzt hat. Außerdem erschließt er sich selber immer neue Felder von Applikationen, in denen früher ein hoher Automatisierungsgrad undenkbar war.

next generation

Am Anfang, als der elektronische Sensor eingeführt wurde, hat man ihn einfach als Ersatz für den mechanischen Schalter gesehen. Er hat diesen ja auch inzwischen weitgehend abgelöst. Das heißt, Typen wurden entwickelt, produziert, kamen zum Anwender und dieser hat zurückgemeldet, wenn der Sensor bei seiner Applikation zusätzliche Eigenschaften benötigte.
Nachdem nun viele Erfahrungen mit dem Einsatz der Geräte gesammelt wurden, kann ein anderer Standpunkt eingenommen werden. Man fragt zuerst: welche Eigenschaften benötigt ein Sensor, um dem Anwender den Einsatz zu erleichtern?

gibt es dafür Beispiele?

Die korrekte Einstellung der Empfindlichkeit konnte bei speziellen Applikationen schwierig sein. Das betrifft z. B. Applikationen, bei denen der Sensor den Füllstand durch eine Wand hindurch (siehe 2.3.4) erfassen soll. Bei der ersten Generation wird die Einstellung durch ein Potentiometer vorgenommen. Bei Füllstandsensoren geschieht die Einstellung automatisch. Der Sensor wählt selbständig die optimale Einstellung, um diese Wand zu kompensieren.
Die zunehmende Verbreitung von Frequenzumrichtern erzeugt erhöhte leitungsgebundene hochfrequente Störpegel, auf die der kapazitive Sensor auf Grund seines Funktionsprinzips empfindlicher reagiert als andere Sensoren. Das Messverfahren wurde deshalb so modifiziert, dass der kapazitive Sensor weitgehend stabil gegen solche Störungen ist.

Einzelheiten dazu werden in 2.2.2 beschrieben.

1.2 Kapazität

was ist das?

Dieser Begriff ist wahrscheinlich jedem geläufig; er wird ja in vielen Zusammenhängen verwendet. In Bezug auf elektrische Ladungen hat er eine spezielle Bedeutung.

Ladung

Es soll nur kurz daran erinnert werden, dass es zwei Arten elektrischer Ladung gibt, die mit + und - bezeichnet werden. Diese Ladungen sind an Träger, z. B. Elektronen und andere Elementarteilchen gebunden. Normalerweise gleichen sich die Ladungen in den Objekten, die uns umgeben, aus. Diese sind elektrisch neutral. Dass Ladungen aber vorhanden sind, ist im nächsten Kapitel 1.3 von besonderer Bedeutung. Wenn es einen Überschuss an Ladung gibt, positiv oder negativ, dann sagt man das Objekt ist geladen.

Aufnahmevermögen

Damit kann der Begriff der Kapazität auch umschrieben werden. Zunächst soll noch an eine Eigenschaft von elektrischen Ladungen erinnert werden. Diese üben Kräfte aufeinander aus: gleichnamige stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Möchte man auf ein bereits geladenes Objekt weitere gleiche Ladungen bringen, dann muss man diese (bzw. ihre Träger) gegen die abstoßende Kraft bewegen.
Das bedeutet, es muss Arbeit geleistet werden. Ein Maß für die elektrische Arbeit ist die elektrische Spannung. Man kann nun Anordnungen von Leitern, Kondensatoren, dadurch charakterisieren, wie viel Arbeit benötigt wird, um sie zu laden. Damit ist es nahe liegend die Kapazität wie folgt zu definieren:

(1)

$$C = \frac{Q}{U}$$

[C] = 1 F = 1 Farad, elektrische Kapazität; [Q] = 1 C = 1 Coulomb, elektrische Ladung; [U] = 1 V = 1 Volt, elektrische Spannung

In Worten: die Kapazität ist umso größer, je mehr Ladung bei einer bestimmten Spannung auf ein Objekt fließt.

ist 1 F viel?

Bei einer Maßeinheit lohnt es sich, diese Frage zu stellen, um in Gefühl für die Größenordnung zu bekommen. 1 F ist sehr viel. So hohe Kapazitäten lassen sich nur schwer realisieren. Kondensatoren sind elektrische Bauteile, die die Aufgabe haben, elektrische Ladungen aufzunehmen. 1 mF ist dafür schon recht groß, typisch sind eher µF.

Bei kapazitiven Sensoren werden sogar Kapazitätsänderungen in der Größenordnung pF ausgewertet. Das trifft z. B. auch für die Drucksensoren der ifm zu, die ebenfalls nach dem kapazitiven Prinzip arbeiten.

Erinnerung

Bedeutung der Abkürzungen:

- m milli 10^{-3}
- µ mikro 10^{-6}
- n nano 10^{-9}
- p piko 10^{-12}

Ein Punkt sollte, um Missverständnisse zu vermeiden, noch verdeutlicht werden. Ladungen werden nicht einfach erzeugt, genauso wenig wie sie verschwinden können. Ladungen werden getrennt. Das heißt, um Ladungen auf ein Objekt zu bringen, müssen sie einem anderen weggenommen werden.
Damit wird auch ein einfaches Beispiel für einen Kondensator, der Plattenkondensator, besser verständlich (siehe Abbildung 2). Hier wird nicht eine Platte allein geladen sondern beide, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen. Zwischen den Platten tritt ein elektrisches Feld auf. Damit wird beschrieben, dass z. B eine negative Ladung zwischen den Platten von der negativen Platte abgestoßen und von der positiven angezogen wird.
Bisher wurde auch nicht erwähnt, dass die elektrische Spannung nicht absolut zu sehen ist, sondern erst als Differenz zwischen zwei Punkten sinnvoll ist. Beim Plattenkondensator ist z. B. die Spannung zwischen den Platten gemeint.

Plattenkondensator

Mit dieser Überlegung ist auch die Formel für die Kapazität eines Plattenkondensators ganz anschaulich zu verstehen. Wenn der Abstand der Platten gering ist, muss weniger Arbeit geleistet zu werden, um die Ladungen zu trennen.
Die Kapazität ist größer. Je größer die Fläche der Platten ist, desto besser können sich die Ladungen darauf verteilen. Es wird weniger Arbeit benötigt, um zusätzliche Ladungen aufzubringen. Die Kapazität ist ebenfalls größer. Die Formel lautet:

(2)

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

[C] = 1 F = 1 Farad, elektrische Kapazität; [ε_0] = 8,8541 10^{-12} F/m, elektrische Feldkonstante; [A] = 1 m^2, Fläche einer Platte; [d] = 1 m, Abstand der Platten

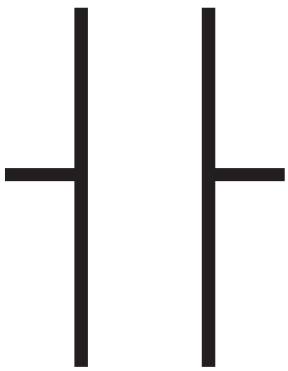


Abbildung 2: Plattenkondensator

Verweis

Die beiden Grundbegriffe, elektrisches Feld bzw. elektrische Spannung sind auch im Zusammenhang mit der EMV-Problematik wichtig (siehe Schulungsunterlagen CE-Kennzeichnung).

1.3 Dielektrizitätskonstante

Dieser Begriff steht für eine Materialeigenschaft, die charakteristisch für das Verhalten im elektrischen Feld ist. Diese Eigenschaft macht sich z. B. bemerkbar, wenn Material zwischen die Platten eines Kondensators gebracht wird (siehe 1.2). Damit ist hier nichtleitendes Material gemeint, sonst gäbe es einen Kurzschluss zwischen den Platten (siehe unten). Den Hintergrund kann man sich mit folgendem Begriff klarmachen.

Polarisierung

Wie oben erwähnt, ist Materie, die aus Elementarteilchen wie Elektronen besteht, elektrisch neutral. Die elektrischen Ladungen, die an die Elementarteilchen gebunden sind, gleichen sich aus. Hier muss noch kurz an die Struktur der Materie erinnert werden. Die kleinsten Bestandteile sind Atome (hier soll nicht weiter gefragt werden, woraus diese bestehen).
Diese kommen aber nur in Edelgasen isoliert vor, normalerweise schließen sie sich zu Molekülen zusammen. Betrachtet man etwas genauer diese Struktur, dann stellt man fest, dass es Materialien gibt, in deren Molekülen die Ladungen nicht völlig symmetrisch verteilt sind. Ein bekanntes Beispiel dafür ist Wasser.
Ein Wassermolekül ist zwar elektrisch neutral. Man kann sich aber vorstellen, dass z. B. die "linke" Seite leicht positiv und die "rechte" Seite leicht negativ ist. Dieser Umstand ist die Ursache für einige Eigenschaften des Wassers, z. B. die gute Löslichkeit von Salzen.
Das ist normalerweise kaum zu bemerken, weil die Wassermoleküle völlig unregelmäßig ausgerichtet sind. Bringt man sie jedoch in ein elektrisches Feld z. B. zwischen die Platten eines Kondensators, dann richten sie sich aus. Die positive Seite wird zu negativen Platte, entsprechen die negative Seite zur positiven Platte weisen.
Bringt man aber ein Material, das nicht von sich aus polarisiert ist, in ein elektrisches Feld, dann kann dieses die Ladungen etwas auseinander ziehen. Auch wenn vorher die Ladungsverteilung symmetrisch war, tritt im elektrischen Feld eine Polarisierung auf.

Hat das auch eine praktische Bedeutung?
Gerade im Zusammenhang mit Kondensatoren ergibt sich daraus eine wichtige Konsequenz. Egal ob sich die Ladungen ausrichten oder auseinander gezogen werden, in jedem Fall wird das Feld geschwächt.
Z. B. werden gegenüber der negativen Platte positive Ladungen sitzen, die die negative Ladung der Platte zum Teil neutralisieren. Damit wird weniger Arbeit benötigt, um zusätzliche Ladungen auf die Platten zu bringen, das heißt, die Kapazität steigt. Formel (2) muss modifiziert werden.

(3)

$$C = \varepsilon_0 \, \varepsilon_r \, \frac{A}{d}$$

ε_r

Ein Vergleich mit (2) zeigt, dass ε_r eine dimensionslose Zahl ist. Sie wird relative Dielektrizitätskonstante genannt. Sie stellt sozusagen den Korrekturfaktor dar, mit dem die Kapazität zu multiplizieren ist, wenn sich Materie zwischen den Platten befindet. Ihr Wert hängt vom Material ab. Mit dem Begriff von oben kann man diesen Wert anschaulich erklären. ε_r gibt an, wie stark sich das Material polarisieren lässt.

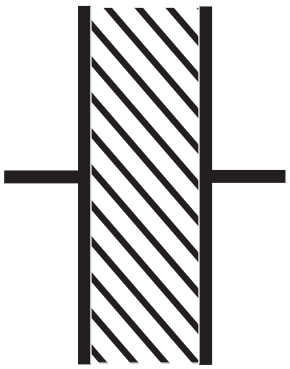


Abbildung 3: Kondensator mit Dielektrikum

Dielektrikum

Dieser Begriff hört sich hochwissenschaftlich und abstrakt an, dabei ist ein Dielektrikum eigentlich nichts Besonderes. Jedes nicht elektrisch leitende Material ist ein Dielektrikum (auf leitende Materialien wird unten eingegangen). Mit dieser Bezeichnung wird nur darauf hingewiesen, dass im aktuellen Zusammenhang die Polarisierbarkeit die wesentliche Eigenschaft ist.

Werte

Falls sich keine Materie zwischen den Platten befindet (Vakuum), dann ist $\varepsilon_r = 1$. Bei Luft ist der Unterschied so gering, dass ε_r ebenfalls praktisch den Wert 1 hat. Bei anderen Materialien kann der Wert nur > 1 sein. Er liegt für viele Materialien zwischen 1 und 10. Bei Wasser ist er schon ungewöhnlich hoch, hier ist $\varepsilon_r \cong 81$.
Die Kapazität eines Kondensators mit Wasser zwischen den Platten ist also 81-mal größer als in Luft. Nur bei einigen "exotischen" Stoffen ist ε_r erheblich größer. Diese werden z. B. bei der Herstellung von Spezialkondensatoren mit hohen Kapazitäten verwendet.

halb voll?

Für den analogen Füllstandsensor ist ein Spezialfall von besonderer Bedeutung. Stellt man sich vor, dass der Wasserstand zwischen den Kondensatorplatten beliebige Werte zwischen voll und leer annehmen kann, z. B. halb voll, was ist dann mit der Kapazität? Sie hängt dann von der Füllhöhe ab. Als Referenz ist es natürlich sinnvoll den leeren Kondensator nach (2) zu nehmen.
Oben wurde gesagt, dass die Kapazität auf etwa das 81-fache steigt, wenn er mit Wasser gefüllt ist, siehe (3). Wenn er nur halb gefüllt ist, dann wird die Kapazität auch nur um den halben Wert steigen. Man kann also genauer sagen: die Kapazitätsänderung ist dem Höhenunterschied proportional (bei rechteckigen Platten). Dieser Zusammenhang wird bei der Signalerzeugung im analogen Füllstandsensor (siehe 2.5.1) verwendet.

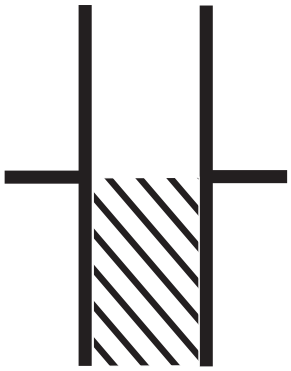


Abbildung 4: Kondensator halb gefüllt

ε_r *von Metall?*

In Metallen (übrigens auch in anderen elektrischen Leitern wie Graphit) können sich Ladungen (genau genommen: Ladungsträger) ziemlich frei bewegen. Was geschieht nun, wenn der Raum zwischen den Kondensatorplatten mit Metall ausgefüllt ist?
Damit kann, wie gesagt, nicht vollständig ausgefüllt gemeint sein, sonst wäre der Kondensator kurzgeschlossen. Es muss also auf beiden Seiten eine kleine Lücke bleiben. Wenn der Kondensator geladen ist, entsteht ein elektrisches Feld zwischen den Platten. Dieses wirkt auf elektrische Ladungen, die ja im Metall frei beweglich sind. Die positiven Ladungen werden sich also gegenüber der negativen Platte sammeln und umgekehrt. Die Bewegung der Ladungen wird so lange anhalten, bis im Inneren des Metalls das elektrische Feld kompensiert ist. Der Begriff der Polarisierung verliert hier allerdings seinen Sinn. Bei Leitern kann man also kein ε_r angeben. Den Effekt der entstehenden Ladungsverteilung kann man sich leicht vorstellen, wenn man sich die Anordnung durch zwei Kondensatoren ersetzt denkt.

Abbildung 5: Metall im Kondensator

wird C größer oder kleiner?

Hier sollen jetzt nicht weitere Zusammenhänge elektrischer Schaltkreise erläutert werden. Es soll nur daran erinnert werden, dass bei der Reihenschaltung zweier Kondensatoren die gesamte Kapazität geringer ist, als die eines einzelnen Kondensators.
Jetzt muss man sich vor dem Fehlschluss hüten, dass die Kapazität des Plattenkondensators sinkt, wenn Metall zwischen die Platten gebracht wird. Die beiden einzelnen Kondensatoren der "Ersatzschaltung" haben eine erheblich höhere Kapazität als der Kondensator ohne Metall zwischen den Platten.
Das kommt daher, dass d viel geringer ist, siehe (2). Die Antwort lautet also: C wird größer. Metall wirkt praktisch wie ein gutes Dielektrikum. Dieser Spezialfall wird unten noch diskutiert (siehe 2.3.3).

2 Eigenschaften kapazitiver Sensoren

2.1 Vergleich

2.1.1 Einordnung

universell

Der kapazitive Sensor erfasst alle Materialien. Er ist also vielseitiger als der induktive. Allerdings ist er dafür auch anfälliger gegen Störungen, z. B. durch Ablagerungen von Verunreinigungen.

Das gleiche, kapazitive Prinzip wird auch beim Drucksensor der ifm verwendet, siehe Schulungsunterlagen Drucksensoren. Da es sich aber um eine ganz andere Messgröße handelt, wird darauf hier nicht eingegangen.

Der kapazitive Sensor hat einige Gemeinsamkeiten mit dem induktiven, lässt sich aber nicht einfach so wie dieser, siehe Schulungsunterlagen induktive Sensoren, nur mit einem mechanischen Schalter vergleichen. Bestimmte Eigenschaften sind kaum vergleichbar, z. B. die Fähigkeit, ein Medium durch eine Wand hindurch zu erfassen, siehe 2.3.4, die Einstellung der Empfindlichkeit, siehe 3.4 , oder die Auswertung des Analogsignals, siehe 2.5.1.

binär und analog

Zunächst soll der binäre Typ, den es schon länger gibt, und der am häufigsten eingesetzt wird, ausführlich beschrieben werden. Im Folgenden, 2.2 bis 2.5 , geht es also um den Einsatz als binärer Positionssensor. Hier wird das Analogsignal nicht extern ausgewertet. Zur besseren Übersicht wird der analoge Füllstandsensor in einem separaten Kapitel, siehe 3.5 , behandelt.

Positionssensor

Der binäre kapazitive Sensor gehört zur Gruppe der Positionssensoren. Zu dieser Gruppe gehören z. B. auch der optoelektronische oder der induktive Sensor. Auswahlkriterien um den geeigneten Positionssensor zu ermitteln, werden in den Unterlagen optoelektronische Sensoren, Kriterien für die Auswahl eines kapazitiven Sensors in den folgenden Kapiteln behandelt (siehe z. B. 2.3.6).
Eine andere Gruppe bilden z. B. die Fluidsensoren. Diese Gruppen lassen sich nicht scharf trennen; die Übergänge sind fließend. So werden z. B. kapazitive Sensoren mit binärem Ausgang häufig zur Überwachung des Füllstands von Fluiden eingesetzt. Da es sich letztlich doch um eine Position handelt, können sie noch zu den Positionssensoren gezählt werden.

Medium

Der binäre kapazitive Sensor lässt sich nicht nur zur Kontrolle des Füllstands von Flüssigkeiten einsetzen. Er wird auch häufig bei Schüttgütern wie Getreide oder Kunststoffgranulat eingesetzt.

Speziell in dieser Funktion als Positionssensor gibt es Gemeinsamkeiten mit dem induktiven Sensor. Die Aussagen, die in den Schulungsunterlagen induktive Sensoren zum Vergleich mit dem mechanischen Endschalter gemacht wurden, treffen hier auch zu.

Alternativen

Die Kriterien, nach welchen ein Positionssensor für eine bestimmte Aufgabenstellung ausgewählt wird, werden, wie erwähnt, in 2.3.6 beschrieben. Bei Meßsystemen für Längen bzw. Abstände ist die Aufgabenstellung eine andere.

Der kapazitive Sensor als Grenzwertgeber hat eine Reihe von Vorteilen. Natürlich gibt es auch Störeinflüsse. Wichtige Punkte dabei werden hier noch einmal kurz zusammengefasst. Die Eigenschaften anderer Systeme werden in 2.1.2 kurz diskutiert.
elektronisches Ausgangssignal
Damit werden Probleme wie Kontaktprellen, Verschleiß, Korrosion der Kontakte usw. vermieden.
Kontakt mit Medium nicht erforderlich
Die berührungslose Erfassung selbst durch Wände oder PTFE-Schutzhüllen hindurch ist hier von Vorteil.

Verschmutzung, Ablagerungen

Dieser wichtige Punkt soll etwas ausführlicher diskutiert werden. Oben wurde die Anfälligkeit des kapazitiven Sensors gegen diese Einflüsse erwähnt. Das scheint also zunächst ein Nachteil zu sein. Nun muss aber berücksichtigt werden, dass viele alternative Systeme in höherem Maße dadurch beeinträchtigt werden können. Beim kapazitiven Sensor können dies Einflüsse, in Grenzen natürlich, kompensiert werden.
Ferneinstellung
Wenn der Sensor nicht im direkten Kontakt mit dem Medium ist, bezieht sich dieser Punkt auf Ablagerungen, z. B. auf der Wand, durch die hindurch der Sensor das Medium erfasst.
Durch einen erneuten Leerabgleich, siehe 3.4 , der über die Programmierleitung auch als Fernabgleich möglich ist, siehe 3.3 , kann dieser Effekt ganz einfach kompensiert werden, wenn die Schicht nicht zu dick ist. Bei mechanischen Systemen hilft nur eine Reinigung, für die sie unter Umständen erst ausgebaut werden müssen.
dynamische Auswertung
Beim analogen Füllstandsensor lassen sich durch die dynamische Auswertung der Segmente, siehe 2.5.1, selbst dicke Schichten von Ablagerungen oder Verkrustungen kompensieren.

2.1.2 Systeme zur Füllstandskontrolle

Alternativen

Hier sollen kurz einige mögliche Alternativen zu kapazitiven Sensoren angesprochen werden. Diese Alternativen betreffen im Wesentlichen den Füllstand, dabei werden auch analoge Systeme angesprochen.
Bei der Kontrolle der Position von beliebigen (nicht nur leitfähigen) Objekten gibt es, abgesehen vielleicht von optischen Sensoren, kaum vergleichbare und wirtschaftliche Alternativen. Deshalb soll in diesem Kapitel der Schwerpunkt auf Alternativen zur Kontrolle von Füllständen liegen.

Schwimmerkörper

Da der induktive Sensor am wenigsten anfällig gegen Störungen ist, u. a. gegen Benetzung mit Wasser, versucht man, ihn auch bei der Füllstandskontrolle einzusetzen. Da er aber hauptsächlich auf metallische Materialien anspricht, ist dazu ein Schwimmerkörper aus Metall erforderlich. Dieser nimmt dann die Position der Oberfläche ein.
Es gibt am Markt diverse Systeme mit Schwimmerkugeln oder Schwimmerbirnen. Damit sie zuverlässig erfasst werden können, müssen sie mechanisch geführt werden. Das macht den Aufbau recht aufwendig. Sollen z. B. mehrere Grenzfüllstände überwacht werden, müssen auch mehrere Schwimmerkörper eingesetzt werden. Die Erzeugung analoger Signale ist möglich, aber mechanisch noch aufwendiger.
Alternativ werden auch Reed-Schalter eingesetzt. In der Funktion als Grenzwertgeber werden teilweise auch noch mechanische Mikroschalter verwendet, die z. B. über einen Hebel betätigt werden.. Besonders auf diese Lösung treffen die meisten Argumente zu, die z. B. in den Schulungsunterlagen induktive Sensoren zum Vorteil des elektronischen Sensors aufgeführt wurden.

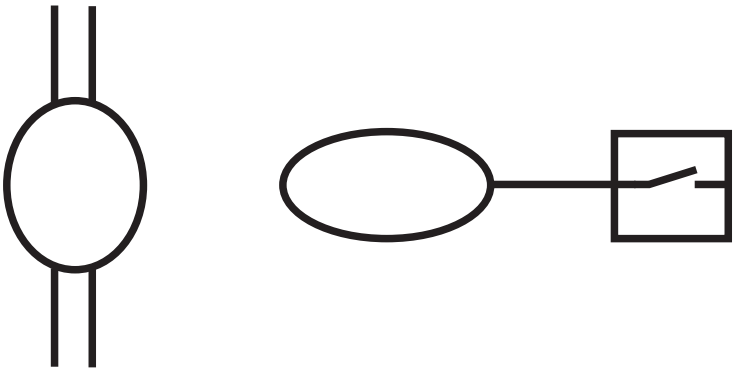


Abbildung 6: Schwimmerkugel und Schwimmerschalter

Egal wie auch das Signal aufgenommen wird, sind diese Vorrichtungen besonders anfällig gegen Verschmutzung. Die Montage ist aufwendig und kostspielig. Eine große Typenvielfalt erschwert die Auswahl.

Auftrieb

Dieses Prinzip wird auch als Verdrängermethode bezeichnet. Dazu wird meist ein spezifisch schwererer Zylinder in das Medium gehängt. Je nach Füllhöhe wird die Kraft an der Aufhängung durch den Auftrieb reduziert. Im Prinzip sind damit auch analoge Messungen möglich, sie erfordern aber einigen mechanischen Aufwand. Auch wegen der geringen Genauigkeit werden sie eher für einfache Überwachungsaufgaben eingesetzt.

Abbildung 7: Auftriebskörper

Druck

Wie in den Schulungsunterlagen Drucksensoren ausführlicher beschrieben wird, können Drucksensoren auch zur Füllstandsmessung eingesetzt werden. Um eine gute Genauigkeit zu erreichen, müssen hohe Anforderungen an die Messgenauigkeit und Auflösung gestellt werden. Um den Füllstand in einem geschlossenen Gefäß zu messen, bei dem der Innendruck vom Atmosphärendruck abweichen kann, ist eine Differenzdruckmessung erforderlich.

Gemeinsam ist diesen mechanischen Methoden die Anfälligkeit gegen Verschmutzungen, Ablagerungen oder Verkrustungen. Die Schwimmer- und Verdrängersysteme müssen teilweise durch aufwendige Umbauten gegen Bewegungen des Mediums, Strömung oder Wirbel, geschützt werden.

Leitfähigkeit

Diese Methode wird auch als konduktive Füllstandsmessung bezeichnet. Zwei Elektroden befinden sich im Medium., das eine gewisse Mindestleitfähigkeit besitzen muss. Bei metallischen Gefäßen kann auch die Wand als zweite Elektrode genutzt werden. Der elektrische Widerstand dazwischen hängt von der Füllhöhe ab.
Um Rückwirkungen, z. B. elektrolytische Zersetzung, zu vermeiden, wird Wechselstrom eingesetzt. Dabei muss ein homogenes Medium mit konstanter Leitfähigkeit vorausgesetzt werden. Eine Abwandlung dieses Systems beruht auf der Auswertung von Änderungen des Potentialverlaufs. Diese ist unabhängig von der Leitfähigkeit; nur ein Mindestwert muss auch hier vorausgesetzt werden. Die konduktive Füllstandsmessung wird selten angewendet.

Radar

Das ist eine aussichtsreiche Technik für die Zukunft. Radarsensoren erzeugen primär analoge Signale, die natürlich auch zur Grenzwerterfassung verwendet werden können. Die direkte Ermittlung der Laufzeit von Impulsen ist hier wegen der relativ kurzen Entfernungen zu aufwendig.
Daher werden Interferenzverfahren (siehe Schulungsunterlagen optoelektronische Sensoren) verwendet. Es gibt auch Verfahren, bei denen die Abschwächung des Signals bei der Durchdringung des Mediums ausgewertet wird. Diese Methode wird auch als Radiometrie bezeichnet.
Die Elementarsensoren gibt es allerdings noch nicht in großen Stückzahlen, so dass der Preis noch relativ hoch ist. Die EMV-Problematik (siehe Schulungsunterlagen CE-Kennzeichnung) führt dazu, dass diese Methode nur in geschlossenen Metallgefäßen angewendet wird. Ähnlich wie beim kapazitiven Prinzip darf die Dielektrizitätskonstante (siehe 1.3) nicht zu klein sein.

Ultraschall

Diese Technik wird zurzeit schon verwendet. Ultraschallsensoren erzeugen analoge Signale.

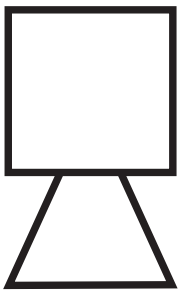


Abbildung 8: Radar oder Ultraschall

Störungen

Auch bei den beiden zuletzt genannten Methoden gibt es systembedingte Probleme. Die Wellen lassen sich schlecht fokussieren. Daher ist die Anwendung z. B. in Fällen wo Einbauten, wie Verstrebungen, oder unregelmäßig geformte Behälter vorhanden sind, problematisch.
Echos allein von den Gefäßwänden können schon zu Störungen führen. Außerdem ist die Ermittlung der Füllhöhe bei schäumenden Flüssigkeiten unsicher. Auch Wellen auf der Oberfläche des Mediums können die Messung stören.

kapazitiv

Bisher werden auch schon unterschiedliche kapazitive Verfahren verwendet. Teilweise sind sie vergleichbar mit den ifm-Systemen. Andere Verfahren, bei denen direkt eine Elektrode in das Medium eingeführt wird, sind anfällig gegen Änderungen der Leitfähigkeit des Mediums.

Vibration

Diese Geräte arbeiten nach dem Prinzip einer Stimmgabel. Bekanntlich ist bei einer Stimmgabel durch den Werkstoff und die Form die Schwingfrequenz weitgehend auf einen Grundton beschränkt. Taucht man eine Stimmgabel mit den frei schwingenden Enden in eine Flüssigkeit, dann wird sie verstimmt. Die Verstimmung wird elektronisch ausgewertet und ermöglicht den Einsatz als Grenzwertgeber.
Hier wird sie auch als Schwinggabel bezeichnet. Man spricht auch von einem Vibrationssensor. Weil die Enden dabei paddelförmig sind, werden sie auch Paddelschalter genannt. Sie können kein analoges Signal erzeugen. Sie müssen direkt mit dem Medium in Kontakt kommen, was sie anfällig gegen Ablagerungen, Korrosion usw. macht. Es gibt eine Vielzahl von Bauformen, aus der das für die Anwendung geeignete Gerät ausgesucht werden muss.
Dieses ist dann aber für andere Anwendungen weniger geeignet. Es muss also damit gerechnet werden, dass mehrere unterschiedliche Typen benötigt werde. Insbesondere sind die Bauformen für die Erfassung von flüssigen Medien und von Schüttgütern unterschiedlich.

In Abbildung 9 ist die paddelförmige Schwinggabel von der Seite gesehen dargestellt. Verdeckt dahinter liegt symmetrisch dazu der zweite Arm. Die Darstellung ist nur schematisch und nicht zu verwechseln mit Abbildung 8, wo ein trichterförmiger Sender und Empfänger angedeutet ist.

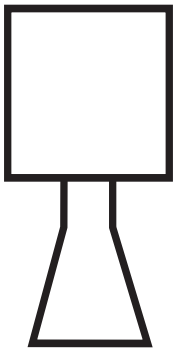


Abbildung 9: Schwinggabel

Diese kurze Übersicht soll genügen. Es gibt weitere Methoden, z. B. optisch, auf die hier nicht eingegangen wird.

Störungen der Füllstandsbestimmung

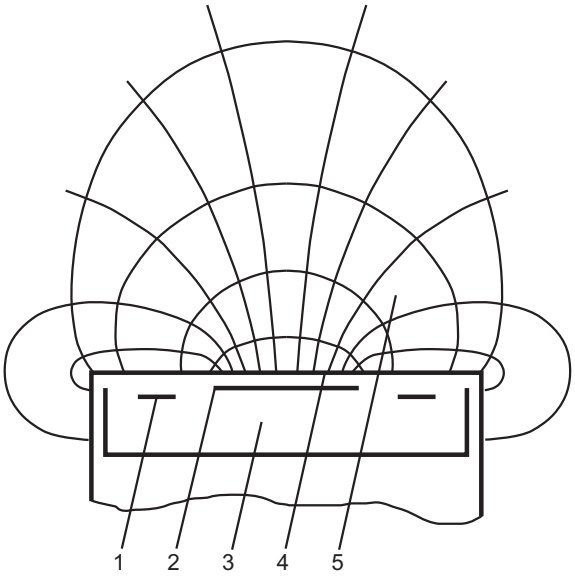
Zum Schluss sollen noch einmal kurz einige Bedingungen aufgezählt werden, die eine Füllstandserfassung in besonderem Maße erschweren.
Bewegung des Mediums
Bewegung von Rührwerken
Schlamm oder Staub im Bereich über dem Medium
Schwebstoffe, Blasen, Ablagerungen im Medium
Verkrustungen
chemisch aggressive Medien

Es zeigt sich auch hier, dass elektronische Sensoren nach und nach mechanische Lösungen verdrängen. Die oben aufgezählten Störeinflüsse wirken sich ja meist erst recht beim mechanischen Gerät aus.
Die Vielzahl der Methoden zeigt auch, dass die Überwachung des Füllstands einen wichtige Aufgabe in der Prozesstechnik ist, und dass darin ein beträchtliches Potential steckt. Es wird allerdings auch nicht einen Sensor geben, der für alle Anwendungsfälle geeignet ist. Auch der analoge Füllstandsensor der ifm ist auf bestimmte Anwendungsfälle ausgelegt (siehe 2.5.3).

2.2 Technik und Funktionsprinzip

Hier wird zunächst nur auf den binären Sensor eingegangen. Der analoge Füllstandsensor wird in 2.5 erklärt.

2.2.1 Elementarsensor kapazitiv



1: Kompensationselektrode; 2: Messelektrode; 3: Gegenelektrode; 4: Gehäuse; 5: Elektrisches Feld

Abbildung 10: Kapazitiver Sensor

Im Folgenden soll der Sensor schrittweise aufgebaut werden: vom Plattenkondensator zum Sensor.

Kondensator

Beim Plattenkondensator ist das Feld auf den Bereich zwischen den Platten konzentriert. Beim einfachen Kondensator wird der geringe Anteil des Streufeldes, der nach außen austritt, eher vernachlässigt. Abbildung 11 entspricht Abbildung 2, nur dass hier die Feldlinien (siehe 1.2) eingezeichnet sind.

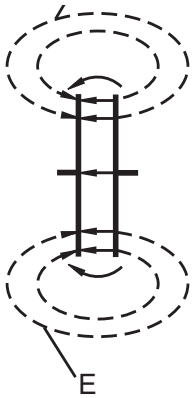


Abbildung 11: Feld des Plattenkondensators

Objekterfassung

Bei einem Positionssensor würde es aber eine starke Einschränkung der Funktion bedeuten, wenn das zu erfassende Objekt zwischen die Platten eines Kondensators passen müsste. Hier wird umgekehrt gerade das austretende Streufeld genutzt. Für eine optimale Ausrichtung dieses Felds wird der Plattenkondensator "deformiert".
Als ersten Schritt kann man sich vorstellen, dass die Fläche der einen Platte, hier auch als Elektrode bezeichnet, vergrößert wird. Stellt man sich weiter vor, dass diese Platte zu einer Becherform gebogen und die andere Platte vor die Öffnung des Bechers gesetzt wird, dann hat man schon den kapazitiven Elementarsensor. Auch dieses Gebilde stellt einen Kondensator dar. Als weitere Komponente kommt hier noch eine ringförmige Kompensationselektrode dazu, die dazu dient, Umgebungseinflüsse zu kompensieren.

Die folgenden Grafiken zeigen die Anordnung der Platten (Elektroden), bei der sich ein Streufeld zwischen der aktiven "heißen" Elektrode und der Masseelektrode in den Raum hinein aufbaut.

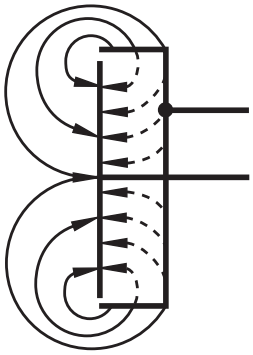
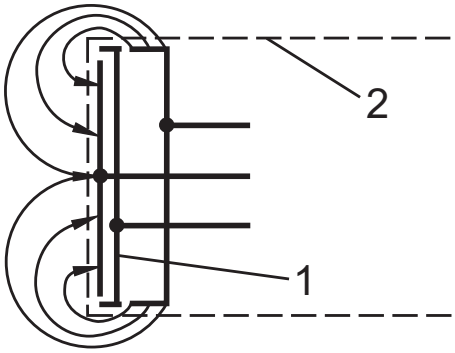


Abbildung 12: Feld beim becherförmigen Kondensator

Gelangt Material in das nach vorn austretende elektrische Feld, so ändert sich die Kapazität des Kondensators. Es genügt dabei, wenn es sich vor dem Becher befindet. Der kapazitive Sensor hat also eine aktive Fläche, ähnlich wie der induktive (siehe Schulungsunterlagen induktive Sensoren).



1: Kompensationselektrode; 2: Gehäuse

Abbildung 13: Feld bei kapazitivem Sensor

Die Größe der Kapazitätsänderung hängt von einer Reihe von Faktoren ab:

Abstand und der Lage des Gegenstandes vor dem Sensor
Abmessungen des Gegenstandes und seiner äußeren Form
Seiner spezifischen Dielektrizitätskonstanten

pF

Die Werte der Änderung sind vergleichsweise gering. Die kleinsten, einigermaßen reproduzierbar auswertbaren Werte liegen in der Größenordnung von 0,1 pF (siehe 1.2).

2.2.2 Signalerzeugung

Es geht also darum, eine Kapazitätsänderung auszuwerten. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zuerst werden kurz Techniken beschrieben, die bei früheren efectoren benutzt wurden.

Schwingkreis

Den Kondensator kann man sich, ähnlich wie die Spule des induktiven Sensors, als Komponente eines Schwingkreises vorstellen. Dieser Schwingkreis wird neben der Resonanzfrequenz angeregt. Die Frequenzen lagen, wie beim induktiven Prinzip, zwischen 100 kHz und 1 MHz. Er schwingt also mit geringer Amplitude.
Ändert sich die Kapazität, nach (3) kann sie nur anwachsen, so verschiebt sich die Resonanzfrequenz, die Amplitude wächst. Trotzdem sagt man: "der Sensor ist bedämpft". Diese Darstellung ist etwas vereinfacht.
Realisiert wurde nicht ein einfacher LC-Schwingkreis sondern ein nichtlinearer Oszillator vom Typ Wien-Robinson. Dieses Prinzip ist aber empfindlicher gegen Störungen als das induktive. Hochfrequente Streufelder, z. B. von Sendern, können über die als Antennen wirkenden Elektroden eingekoppelt werden.
Hier konnte durch versetzte Frequenzen Abhilfe geschaffen werden. Dazu kommen hochfrequente Störungen, die über das Netz eingekoppelt werden, und die hauptsächlich von Frequenzumrichtern verursacht werden. Das hat dazu geführt, dass dieses Prinzip bei den aktuellen Geräten nicht mehr verwendet wird.

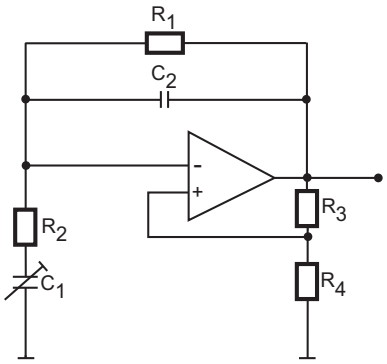


Abbildung 14: frühere Schaltung schematisch

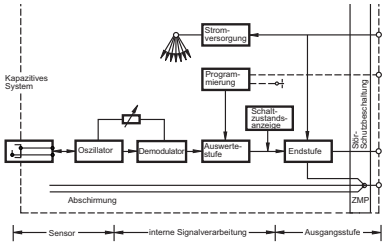


Abbildung 15: frühere Schaltung als Blockschaltbild

Einstellung

Aus Abbildung 15 erkennt man, dass, anders als beim induktiven Sensor, die Empfindlichkeit in der Regel einstellbar ist. Diese Eigenschaft ist geblieben, nur werden jetzt auch moderne Techniken, ohne Potentiometer, verwendet (siehe 3.4).

aktuell

Bei der heutigen Generation haben sich zwei Dinge geändert:
Funktionsprinzip der Schaltung und
Auswertung der Kapazität
Die Auswertung wird heute über einen Mikroprozessor gesteuert. dadurch konnte auf das Potentiometer verzichtet werden, welches den mechanischen Aufbau aufwendig machte, um Dichtigkeit zu erreichen. Der zweite Vorteil liegt darin, dass die Einstellung auf Tastendruck oder durch einen Impuls auf der Programmierleitung vollautomatisch auf den optimalen Schaltpunkt erfolgt (siehe 3.4).

Verlauf der Kapazität des Kondensators
Ähnlich wie beim induktiven Sensor ist der Zusammenhang zwischen der Entfernung eines Objekts und der Änderung der Größe, die den Schwingkreis beeinflusst (hier die Kapazität des Kondensators), nichtlinear. Daher gilt auch hier: Dieser Sensortyp ist für Abstandsmessungen kaum geeignet, sein Haupteinsatzgebiet ist die Funktion als binärer Schalter.

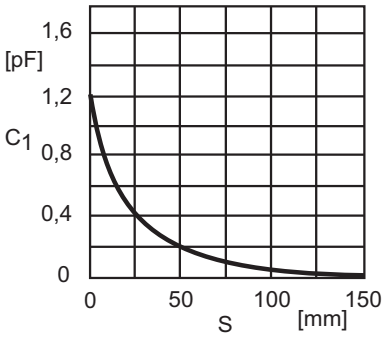


Abbildung 16: Kapazitätskennlinie

feste Frequenz

Wenn hochfrequente Störungen auf die Schaltung einwirken, dann kann man das als ein System von gekoppelten Schwingkreisen sehen. Man konnte sehen, dass die resultierende Frequenz des Schwingkreises verschoben wurde. Ein Ansatz um diesen Effekt zu verhindern, bestand darin, dass mit Hilfe eines Schwingquarzes eine feste Frequenz erzwungen wurde.
Dieses Prinzip, mit dem in der Praxis eine deutlich verbesserte Widerstandsfähigkeit gegen solche Störungen erzielt werden konnte, wurde bei der nächsten Generation verwendet. Nachdem aber ein noch besseres Verfahren entwickelt wurde, wird es heute auch nicht mehr verwendet.

Ladungsbalance

Etwas vereinfacht besteht dieses Prinzip darin, dass der eigentliche Messkondensator und ein Referenzkondensator abwechselnd geladen werden. Durch dieses dynamische Verfahren werden Störungen optimal kompensiert. Diese Geräte werden mit NI (noise immune: unempfindlich gegen Störungen) bezeichnet.

2.2.3 Auswertung

Zunächst muss die in Kapazitätsänderung enthaltene Information in ein Schaltsignal übersetzt werden. Damit wird erreicht, dass nur einer von den zwei möglichen Schaltzuständen "Strom fließt" oder "Strom fließt nicht" eingenommen werden kann.

Signalverarbeitung / Endstufe

Auf den Elementarsensor folgen weitere Stufen, die das Signal auswerten. Abbildung 15 zeigt die Auswertung beim Schwingkreisverfahren. Ein Vergleich mit den Schulungsunterlagen induktive Sensoren macht deutlich, dass induktive und kapazitive Sensoren elektronisch im Prinzip gleich aufgebaut waren; Unterschiede bestanden in folgenden beiden Punkten:
Art des Elementarsensors und Einstellmöglichkeit bei kapazitiven Geräten. Durch die Weiterentwicklung des kapazitiven Prinzips sind aber heute die Schaltungen nicht mehr direkt vergleichbar. Auch bei der Einstellung des Schaltpunktes, bzw. der Empfindlichkeit, gibt es inzwischen Unterschiede (siehe 3.4).

Eindeutigkeit

Befindet sich ein Objekt exakt in diesem Schaltpunkt oder nähert es sich diesem langsam ("schleichend"), dann besteht die Gefahr, dass der Schaltausgang ständig zwischen den beiden Zuständen hin und her pendelt, man bekäme ein so genanntes Ausgangsflattern. Dies wird durch eine eindeutig definierte Hysterese verhindert, die elektronisch erzeugt wird (siehe 2.3.2).

Zeitverhalten

Weiterhin muss durch schaltungstechnische Maßnahmen sichergestellt werden, dass im Moment des Anlegens der Betriebsspannung kein fehlerhaftes Schaltsignal ausgegeben wird, es muss eine Einschaltimpulsunterdrückung gewährleistet sein. Die Zeit, die vergeht zwischen dem Anlegen der Betriebsspannung und der vollen Betriebsbereitschaft des Sensors heißt Bereitschaftsverzögerungszeit und liegt im Millisekundenbereich. Gelegentlich kommen hier Verwechslungen vor. Sie ist nicht mit der Schaltzeit gleichzusetzen (siehe 2.3.5). Diese ist erheblich kürzer. Eine weitere Größe ist die Reaktionszeit, d. h. die Zeit, die vergeht zwischen dem Vorhandensein des Objekts und dem Schalten des Ausgangs. Diese hängt mit der Schaltfrequenz zusammen (siehe 2.3.5) und ist auch kürzer.

Schaltfunktion

Bei vielen Geräten kann zusätzlich die Schaltfunktion Schließer oder Öffner gewählt werden. Bei den früheren Geräten wurde das auch als Programmierung bezeichnet, selbst wenn dazu einfach eine Drahtbrücke aufgetrennt werden muss.

Ausgang

Zum Schalten des Ausgangssignals haben sich auf dem Markt Halbleiterschalter, wie Transistoren und Thyristoren durchgesetzt. Sie bieten hinsichtlich der Lebensdauer, der Zahl der zuverlässigen Schaltspiele, der Schaltfrequenz und des prellfreien Schaltverhaltens eindeutige Vorteile.

Die geringen Nachteile, nämlich Leckstrom im ausgeschalteten Zustand, Spannungsabfall im durchgeschalteten Zustand und höhere Empfindlichkeit gegenüber Überspannung und Überströmen (siehe z. B. 3.3), können in der Regel toleriert oder durch geeignete Schutzmaßnahmen weitgehend vermieden werden.

2.3 Praktischer Einsatz

2.3.1 Schaltabstand

was ist das?

Auf den ersten Blick scheint das ganz einfach zu beantworten. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass es wichtig zum richtigen Verständnis ist. Kapazitive Sensoren arbeiten berührungslos, man muss mit dem zu erfassenden Objekt nur in die Nähe des Sensors kommen. Was heißt aber in die Nähe kommen? Dieser Abstand, bei dem ein Sensor in der Lage ist, einen Gegenstand sicher zu detektieren, heißt Schaltabstand. Er hängt ab von
der Art und der Bauform des Sensors, das heißt vom Typ,
den spezifischen Eigenschaften des verwendeten Exemplars,
äußeren Bedingungen,
Form, Abmessung und Materialeigenschaften der zu erfassenden Objekte.

Bemessungsschaltabstand

Zu jedem Typ gibt es dafür eine charakteristische Größe, den Bemessungsschaltabstand (auch Nennschaltabstand genannt), der auch auf dem Typenschild zu finden ist.. Er hängt bei kapazitiven Systemen ab von der Form und den Abmessungen der Elektroden, also des Elementarsensors. Als Faustregel kann gelten, dass der Schaltabstand um so größer ist, je größer die äußeren Abmessungen des Sensors sind. Die Werte liegen etwa zwischen 1 bis 60 mm.

ist dieser Wert fest?

Anders als z. B. bei induktiven Sensoren ist der Schaltabstand, bzw. die Empfindlichkeit bei kapazitiven einstellbar. Das ist bei vielen typischen Anwendungen (siehe 2.3.4) auch erforderlich. Weil diese Einstellung so wichtig ist, wurde auch das Verfahren dabei weiterentwickelt. Werksseitig ist der Schaltabstand so eingestellt, dass eine optimale Betriebsreserve erreicht wird. Das bedeutet, die Anfälligkeit gegen Verschmutzung, Betauung oder Temperaturänderungen ist minimal.

was bedeutet "Nenn-"?

Diese Bezeichnung weist darauf hin, dass diese Größe nicht absolut genommen werden kann sondern Interpretiert werden muss. Wie hängt der tatsächliche Schaltabstand mit dem Bemessungs- oder Nennschaltabstand zusammen? Anders gefragt: wovon hängt der Schaltabstand ab? Es gibt eine Reihe von Einflüssen.

Verschiedene Exemplare des gleichen Typs können nicht völlig identisch sein. Das heißt, dass mit Exemplarstreuungen zu rechnen ist. Außerdem ist der Sensor wechselnden Umgebungsbedingungen, z. B. Temperaturänderungen, Schwankungen der Betriebsspannung usw., ausgesetzt. Objekte, die sich in der Nähe des Sensors befinden, die aber nicht Gegenstand der Detektion sind, z. B. feststehende Anlagenteile, können ebenfalls den Schaltabstand beeinflussen (vgl. 2.3.3). Schließlich müssen die Eigenschaften der Objekte berücksichtigt werden. Die Auswirkung dieser Einflüsse wird im Folgenden kurz erläutert.

Der bei kapazitiven Sensoren angegebene Bemessungsschaltabstand Nennschaltabstand wird mit einer geerdeten Metallplatte ermittelt.

Bedeutung

Bei der Anwendung von kapazitiven Sensoren stellt sich in der Regel die Frage: wie wird der Sensor an die konkrete Aufgabenstellung angepasst? Der Schaltabstand hat hier nicht die Bedeutung wie beim induktiven Typ. Deshalb wird nur kurz auf diesen Begriff eingegangen.
Eine ausführlichere Erläuterung ist in der Beschreibung der induktiven Sensoren, siehe Schulungsunterlagen induktive Sensoren, zu finden. Sinngemäß lässt sich das meiste auf den kapazitiven übertragen.

Natürlich wird auch bei der Auslegung der Schaltung und beim Fertigungsprozess des kapazitiven Sensors viel Sorgfalt darauf verwendet, dass die zulässigen Toleranzen, ± 10 % Exemplarstreuung und ± 10 % durch Umwelteinflüsse nicht nur eingehalten sondern unterboten werden. Besonders bei der Festigkeit gegen hochfrequente Störeinflüsse konnten bedeutende Fortschritte erzielt werden, siehe 2.2.2.

Arbeitsschaltabstand

Für den Anwender wichtig und interessant ist hierbei die Untergrenze - also 0,81 s_n. Bei diesem Abstand, dem gesicherten Schaltabstand s_u, muss jeder Sensor sicher funktionieren.

Die obere Grenze, das 1,21-fache des Nennschaltabstandes ist auch von Bedeutung, z. B. um Störungen durch weiter entfernte Gegenstände zu vermeiden.

Faustregel

Als Faustregel hat sich bewährt, dass der Abstand des Objekts (gut detektierbares Material mit ausreichender Flächenausdehnung vorausgesetzt) etwa die Hälfte des Nennschaltabstandes betragen sollte.

Wiederholgenauigkeit

In der Praxis ist ein anderer Begriff häufig von Bedeutung nämlich die Wiederholgenauigkeit, auch Reproduzierbarkeit genannt. Man fragt dabei, wie der Schaltpunkt streut, wenn der Sensor mehrfach vom gleichen Objekt in der gleichen Weise angefahren wird. Die möglichen Toleranzen stehen damit nur indirekt in Zusammenhang und sollten nicht damit verwechselt werden. Die Wiederholgenauigkeit ist beim kapazitiven Sensor geringer als z. B. beim induktiven Sensor.

Vorbedämpfung

Welche Auswirkungen hat es, wenn sich weitere detektierbare Objekte, z. B. die Wand eines feststehenden Gehäuses oder eine Ablagerung von Spänen, in der Nähe des Sensors befinden? Man sagt dann, der efector ist vorbedämpft. Das bedeutet, dass der Sensor durch diese Objekte schon beeinflusst wird, allerdings noch nicht durchschaltet.
Das hat zur Folge, dass nur noch ein geringer zusätzlicher Einfluss nötig ist, z. B. durch ein weiter entferntes oder kleineres Objekt, damit der Ausgang geschaltet wird. Der Sensor ist also empfindlicher geworden, der Schaltabstand hat sich vergrößert. Dieser Fall sollte also nach Möglichkeit vermieden werden, weil sich dadurch das Risiko von Fehlschaltungen erhöht.

Kompensation

Der kapazitive Sensor wird aber gerade bei typischen Applikationen, siehe 4, so eingesetzt, dass er durch Objekte, z. B. die Wand eines Gefäßes, beeinflusst wird. Dann muss er so eingestellt werden, dass dieser Einfluss kompensiert wird. Das Vorgehen dabei wird in 3.4 beschrieben.

2.3.2 Hysterese

ist das gewollt?

Hysterese ist die Differenz zwischen dem Abstand, bei dem der Ausgang schaltet, wenn sich das Objekt nähert, und dem Abstand, in dem der Ausgang wieder zurückschaltet, wenn sich das Objekt wieder entfernt. Wenn sich ein Objekt genau im Schaltpunkt befindet, bestünde die Möglichkeit, dass der Schaltausgang ständig zwischen den beiden Zuständen EIN und AUS hin und her pendelt.
Dies wird durch eine eindeutig definierte Hysterese verhindert, die elektronisch erzeugt wird. Durch einen schaltungstechnisch eingebauten Unterschied zwischen Ein- und Ausschaltpunkt ergibt sich ein Bereich von mehreren Millimetern Hub, um den das zu detektierende Objekt sich bewegen muss, damit der Sensor sicher ein- und ausschaltet.

Die Hysterese ist auch bei anderen Sensoren, z. B. für Druck und Temperatur von Bedeutung. Hier ist es von Vorteil, wenn die Hysterese frei einstellbar ist, weil damit einfache Regelfunktionen realisiert werden können.

seitliche Annäherung

Wird der Gegenstand nicht axial sondern radial - also von der Seite - auf den Sensor zugeführt, dann hängt der genaue Ein- bzw. Ausschaltpunkt von der Form des elektrischen Streufeldes ab.

2.3.3 Korrekturfaktoren

muss man noch mehr wissen?

In der Praxis hat man es eher selten mit einer geerdeten Metallfläche (siehe 2.3.1) als Objekt zu tun. Die Objekte können größer, kleiner, unregelmäßig geformt sein und aus verschiedenen Materialien bestehen. Der Nennschaltabstand ist dann mit Korrekturfaktoren zu multiplizieren, um den tatsächlichen Schaltabstand zu ermitteln.
Das bedeutet praktisch eine Maßstabsänderung. Die Toleranzen der Norm,, z. B. ± 10% bei Temperaturänderungen, bleiben dabei erhalten. Auch bei der Hysteresekurve ändern sich die Maße entsprechend. Wie diese Faktoren zu ermitteln sind, wird im Folgenden beschrieben.

Kantenlänge

Wird eine kleinere oder nicht quadratische Platte eingesetzt, so muss der Schaltabstand mit einem Faktor korrigiert werden. Wie beim induktiven Sensor ergeben sich geringere Schaltabstände für kleinere Objekte und ein praktisch konstanter Schaltabstand bei größerer Kantenlänge.

Faustregel

Man kann als weitere Faustregel aufstellen, dass der Schaltabstand dem Nennschaltabstand entspricht, wenn das Objekt nicht kleiner ist als die aktive Fläche des Sensors (siehe 2.2.1). Erst bei wesentlich kleineren Abmessungen liegt die Grenze, bei der Objekte nicht mehr erkannt werden.

Formfaktor

Bei anderen Formen, z. B. wenn Zylinder erfasst werden sollen, lässt sich der Faktor nicht mehr allgemein angeben. Bei Kugeln wird der Schaltabstand etwas reduziert werden. Der Wert hängt jedoch vom Radius der Kugel ab. Bei noch unregelmäßiger geformten Objekten kann der Schaltabstand nur aus der Erfahrung abgeschätzt werden und sollte durch praktische Versuche ermittelt werden.
Anders als beim induktiven Sensor ändert sich der Schaltabstand kaum, wenn an Stelle eines kompakten Objekts ein geschlitztes Objekt, z. B. ein Kamm erfasst wird.

Material

Sollen Objekte aus beliebigem Material erfasst werden, so muss der Schaltabstand ebenfalls korrigiert werden. Bei kapazitiven Sensor hängt der Korrekturfaktor von der Kapazitätsänderung des Kondensators an der Sensorspitze ab(siehe (3) in 1.3).

Je stärker diese Änderung, desto eher wird ein Objekt erkannt. Damit ist der Korrekturfaktor direkt abhängig von der relativen spezifischen Dielektrizitätskonstante des jeweiligen Stoffes (s. folgende Abbildung).

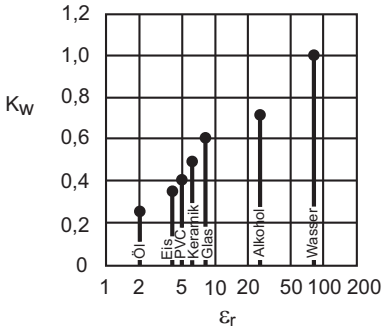


Abbildung 17: Korrekturfaktor Material

Aus dem Diagramm lässt sich ablesen, dass der kapazitive Sensor besonders auf Wasser anspricht. Das ist ein erwünschter Effekt, wenn z. B. der Wasserstand durch eine Wand aus Kunststoff oder Glas hindurch überwacht wird (siehe 2.3.4). Andererseits ist damit der Sensor anfälliger gegen Störungen durch Spritz- oder Kondenswasser.

Im Prinzip müsste auch die Temperaturabhängigkeit von ε_r berücksichtigt werden. Bei den meisten Medien ist sie jedoch schwach ausgeprägt, so dass sie keine praktische Bedeutung hat. Anders verhält es sich, wenn eine Temperaturänderung mit einem Wechsel des Aggregatzustandes verbunden ist, siehe den beträchtlichen Unterschied zwischen Wasser und Eis in Abbildung 17.

Elektrisch leitfähige Stoffe, wie z. B. alle Metalle, sind nicht dargestellt. Für sie gilt als Korrekturfaktor immer 1, dass heißt, man erreicht den höchstmöglichen Schaltabstand (siehe 1.3).

Materialdicke

Anders als beim induktiven Typ steigt der Schaltabstand mit der Materialdicke an. Er bleibt erst nach einem Grenzwert konstant. Zu diesem Grenzwert lässt sich keine allgemeine Aussage treffen, weil er vom Material und der Bauform des Sensors abhängt.

2.3.4 Kompensation der Umgebung

Wand

Eine häufige Anwendung schon bei binären Sensoren ist die Kontrolle eines Füllstands. Der analoge Füllstandsensor wird in 3.5 beschrieben. Besteht z. B. die Wand eines Gefäßes oder Rohres aus geeignetem Material (etwa Glas oder PVC, nicht jedoch Metall), und soll z. B. ein Wasserstand erfasst werden, dann lässt sich der Sensor außerhalb des Gefäßes oder Rohres anbringen.
Durch die Einstellung der Empfindlichkeit lässt sich erreichen, dass nicht die Wand, sondern das dahinter befindliche Medium erfasst wird, dass der Sensor quasi durch die Wand hindurchsehen kann. Das ist besonders dann möglich, wenn die Dielektrizitätskonstante des zu erfassenden Materials erheblich größer ist als die des Wandmaterials.

Selbst wenn die Dielektrizitätskonstanten des Mediums und der Wand von der gleichen Größenordnung sind, kommt es noch auf die Dicke der Wand an. Im Zweifelsfall lohnt sich immer ein praktischer Versuch.

Verfahren

Ein Teil der Geräte wird mit einem Potentiometer eingestellt. Man versucht dabei eine Mittelstellung zu finden, bei der der Sensor auf das Medium anspricht jedoch nicht au die Wand. In Einzelfällen kommt es dabei auf das Fingerspitzengefühl des Bedieners an; etwas Erfahrung ist von Vorteil.
Wenn der Sensor überhaupt nicht mehr reagiert oder ständig durchgeschaltet bleibt, also seine ganze Umgebung, sein eigenes Gehäuse, erkennt, dann liegt das wahrscheinlich daran, dass man weit vom Schaltpunkt entfernt ist. Man sollte dann die Geduld aufbringen, um, gegebenenfalls nach etlichen Umdrehungen den Schaltpunkt wieder zu finden.
Die neue Generation, das sind Geräte, die speziell für die Anwendung Kontrolle des Füllstands ausgelegt sind, verfügen über einen Mikroprozessor und Folientasten oder einen berührungslosen Sensor. Durch entsprechende Betätigung der Tasten oder Bedämpfung des Sensors sucht sich das Gerät selbständig die optimale Einstellung.
Meist genügt ein Leerabgleich, bei dem eine Einstellung ermittelt wird, bei der die Wand kompensiert wird. In kritischeren Fällen kann zusätzlich ein Vollabgleich durchgeführt werden. In 3.4 wird das Verfahren genauer beschrieben. Das wird auch als "teach in" bezeichnet.

Damit wird es auch dem ungeübten Bediener ermöglicht, einfach und sicher das Gerät einzustellen. Falls das doch einmal misslingt, dann liegen die Verhältnisse so ungünstig, dass man davon ausgehen kann, dass auch die manuelle Einstellung nicht zum Erfolg führt.

Zubehör

Da diese Anwendung so häufig ist, gibt es auch Kunststofffenster, die mit einem Haltewinkel zur Montage des Sensors versehen sind, als Zubehör. Das Fenster ist entweder gerade oder gekrümmt, auf bestimmte Rohrdurchmesser angepasst.
Daneben gibt es auch noch Tauchrohre oder Schutzrohre aus PTFE, die das Gerät vor dem Kontakt mit aggressiven Medien bewahren. Sie finden diese im Katalog oder auf Anfrage bei www.ifm.com.
Bei dieser Anwendung ist besonders zu beachten, dass sich der Sensor möglichst dicht vor der Wand befinden sollte. In Einzelfällen kann es sogar zweckmäßig sein, ihn mit der Wand zu verkleben. Je größer nämlich der Abstand des Sensors von der Wand ist, desto schwerer fällt es ihm, die Wand von dem Medium dahinter zu unterscheiden.

Ferneinstellung

Die Geräte mit Mikroprozessor vom Typ KN, siehe 3.3 , sind mit einer Programmierleitung versehen. Damit lässt sich ein Leerabgleich auch aus der Entfernung durchführen. Das ist besonders in folgenden Fällen interessant:
schwer zugänglicher Einbauort oder
Verschmutzung der Wand
Bei der Kontrolle des Füllstands von Wasser kann es vorkommen, dass nach der Entleerung des Gefäßes noch Wassertropfen an der Wand hängen. Bei der Kontrolle des Füllstands eines Mehlsilos kann es vorkommen, dass Mehl, z. B. durch elektrostatische Aufladung, an der Wand haftet, auch wenn der Silo leer ist.
Wenn der Leerabgleich zuvor auf die saubere Wand durchgeführt wurde, kann das zu Fehlschaltungen führen. Durch einen erneuten Leerabgleich lässt sich dann der Fehler beheben.

2.3.5 Schaltzeiten und Schaltfrequenz

ms

Die Zeit zwischen Eintreten des zu detektierenden Objekts in den Bereich des Streufeldes und Schalten des Ausgangssignals des Sensors liegt im Allgemeinen in der Größenordnung von einigen Millisekunden. Die Schaltfrequenzen liegen zwischen 50 und 5 Hz. Der niedrigere Wert gilt für die binären Füllstandsensoren mit Mikroprozessor, Typ KN. Bei deren typischer Anwendung sind höhere Frequenzen und damit kürzere Schaltzeiten wenig sinnvoll.

Dieser Punkt wird hier nicht weiter vertieft. In den Schulungsunterlagen induktive Sensoren sind Beispiele für den optimalen Einsatz von induktiven Sensoren bei zeitkritischen Vorgängen beschrieben. Diese können sinngemäß auch auf kapazitive Sensoren übertragen werden, falls diese Anwendung einmal auftreten sollte.

Die Schaltzeit darf nicht mit der Bereitschaftsverzögerungszeit verwechselt werden; diese ist erheblich größer (siehe 2.2.3).

2.3.6 Hinweise zum praktischen Einsatz

In diesem Kapitel sollen einige Punkte ergänzt und andere, die oben ausführlicher erklärt wurden, noch einmal kurz zusammengefasst werden.

Zuerst soll betont werden, dass der kapazitive Sensor ein einfaches und unkompliziertes Gerät ist. Das wird dadurch bestätigt, dass er in großen Stückzahlen eingesetzt wird, ohne dass geschulte Experten benötigt werden. Viele Erklärungen und Hinweise in diesem Text werden in der Praxis kaum beachtet.
Ein Gerät kann aber noch so unkompliziert sein; es bleiben immer noch Möglichkeiten, etwas falsch zu machen. Außerdem gibt es Fälle, bei denen man auf Grenzen der Einsatzmöglichkeit stößt. Die vorliegenden Unterlagen sollen unter anderem auch bei etwas kniffligen Fällen, wenn sich der Sensor anders verhält als erwartet, dabei helfen, Lösungen zu finden.

Material des Objekts

Kapazitive Sensoren detektieren alle elektrisch leitfähigen Gegenstände, seien sie geerdet oder nicht geerdet. Weiterhin sind sie in der Lage, auch elektrisch nicht oder schlecht leitfähige Stoffe zu erkennen, wie Kunststoffe, Glas, Keramik, oder Flüssigkeiten wie Wasser oder Öl.
Durch die Einstellbarkeit seiner Empfindlichkeit an einem präzisen Potentiometer oder automatisch, auf Tastendruck, ist die Anpassung auf das Erkennen bestimmter Materialien möglich.

Bewegung des Objekts

Wie beim induktiven Sensor ist auch dieses Funktionsprinzip unabhängig davon, ob der Gegenstand sich bewegt oder nicht, die Oberflächenbeschaffenheit des zu detektierenden Objekts ist ebenfalls nicht ausschlaggebend.

Form des Objekts

Ähnlich wie beim induktiven Sensor muss sich genügend Material in der Nähe des Elementarsensors befinden, um erkannt zu werden. Dagegen ist es unerheblich, ob es sich um kompakte, flächenhafte Gegenstände handelt, oder z. B. um geschlitzte, wie bei einem Kamm.
Einzelne, im Verhältnis zur Sensorfläche kleine Gegenstände, z. B. Späne von einem Bearbeitungsprozess, Riefen oder Grate auf der Oberfläche des Werkstücks, beeinflussen die Funktion erst dann, wenn sie in großer Zahl auftreten. Bei unregelmäßig geformten Gegenständen ist die Messung ebenfalls integrierend und kaum zur Bestimmung der Entfernung geeignet.

Sauberkeit

Eine wichtige Bedingung für die zuverlässige Funktion kapazitiver Sensoren ist Sauberkeit. Eine gleichmäßige leichte Bedeckung mit Staub oder einen Wasserfilm durch Betauung kann (natürlich in Grenzen) kompensiert werden. Häufen sich aber z. B. Sägespäne auf dem Sensor, dann kann es zu Fehlschaltungen führen.
Wenn es bei automatisierten Prozessen zu Störungen durch Fehlschaltungen kapazitiver Sensoren kommt, dann ist eine Reinigung vorzunehmen. Z. B. in der Holzverarbeitung ist es häufig schon zur Routine geworden, die kapazitiven Sensoren von Zeit zu Zeit von Sägespänen zu reinigen.

Rückwirkung auf das Objekt

Da an den Elektroden nur eine sehr kleine Spannung anliegt und die Elektronik mit nur wenigen Mikrowatt Energie betrieben wird, lädt sich der Sensor nicht statisch auf und verursacht keine Hochfrequenzstörungen im Umgebungsbereich (kein Elektrosmog). Er arbeitet praktisch vollkommen rückwirkungsfrei.

durch die Wand

Bei der häufigen Applikation Kontrolle eines Füllstands wird die Fähigkeit des Sensors, durch die Wand "sehen" zu können, genutzt.

Das ist bei Metallwänden nicht möglich
Kunststofffenster mit Haltewinkeln sind als Zubehör erhältlich.
Die automatische Kompensation der Wand ist einfach und zuverlässig.
Der Sensor sollte möglichst dicht an der Wand angebracht werden.

wie finde ich den geeigneten Sensor?

Früher bedurfte es einer manchmal mühsamen Recherche im Katalog. Hier ist der elektronische Katalog von Vorteil. Ein automatischer Selektor trifft nach vorgegebenen Kriterien eine Auswahl von passenden Geräten.

2.4 Montagehinweise

2.4.1 Bündig / Nicht bündig

Das ist ein wichtiges Kriterium für den praktischen Einsatz der Geräte. Die entsprechende Eigenschaft ist durch die Konstruktion des Geräts vorgegeben und daher nicht nur auf dem Datenblatt sondern auch auf dem Typenschild zu finden.

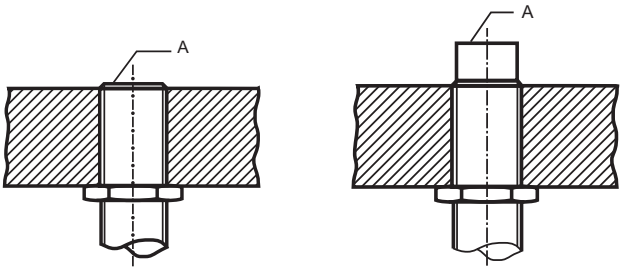
b / nb

Früher wurde die Abkürzung b bzw. nb verwendet.

f / nf

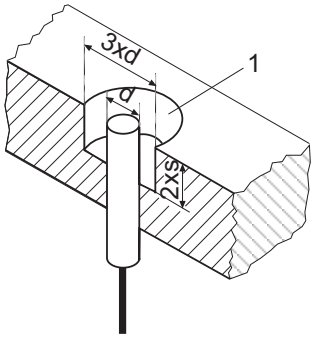
Heute wird die international verständliche Bezeichnung f (für flush mountable) bzw. nf (für not flush mountable) verwendet.

Durch das Funktionsprinzip des kapazitiven Sensors ist es schwieriger als beim induktiven, Geräte zu entwickeln, die bündig eingebaut werden können und außerdem eine gute Störfestigkeit aufweisen.
Bei der neueren Generation vom Typ KN in der zylindrischen Gewindebauform konnte das realisiert werden. Die Geräte sind daran zu erkennen, dass das Metallgewinde (M 30 × 1,5) bis zur aktiven Stirnfläche reicht. Beim nicht bündig einbaubaren Typ endet es 15 mm vorher.



A: aktive Fläche

Abbildung 18: f und nf



1: Freiraum

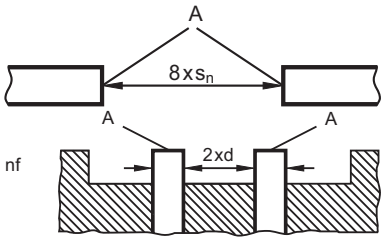
Abbildung 19: Freiraum nf

Vorbedämpfung

Wenn es sich gar nicht vermeiden lässt, dass ein Objekt in der Umgebung des Sensors diesen beeinflusst, dann spricht man von Vorbedämpfung. Dieser Begriff wird in 2.3.1 erläutert.

2.4.2 Gegenseitige Beeinflussung

Sollen an eine Anlage mehrere Sensoren gleichen Typs nahe beieinander betrieben werden, so sind ebenfalls bestimmte Mindestabstände zwischen den Geräten einzuhalten. Auch hier sollten die in der folgenden Abbildung angegebenen Mindestabstände eingehalten werden.



A: aktive Fläche; d: Durchmesser des Sensors

Abbildung 20 Freiräume gegenseitige Beeinflussung

2.4.3 Mechanische Festigkeit

Besonders in vibrationsreicher Umgebung muss auf sorgfältige Befestigung des Sensors geachtet werden. Obgleich viele Gewindebauformen wie Bolzen aussehen, sind die Anzugsmomente für die Muttern begrenzt. Es sollten ausschließlich die vom Hersteller mitgelieferten bzw. empfohlenen Befestigungselemente verwendet werden. Dies gilt insbesondere für Geräte mit glatter Hülse, wo beispielsweise eine Fixierung mit einer Madenschraube keinesfalls zulässig ist.

Wenn das nach Herstellerangaben erlaubte Anzugsmoment für die Muttern nicht ausreichend erscheint, können Metallgewindegeräte eingesetzt werden. Bei kleinen Gerätebauformen mit Kunststoffgewinde wird zur Verbesserung der Befestigung der Einsatz von Gummiunterlegscheiben empfohlen.
Sensoren sollten an Orten angebracht werden, wo sie vor mechanischer Beschädigung möglichst geschützt sind. Gegebenenfalls können sie abgedeckt werden: so eignen sich Glas- oder Keramikplatten, um die aktive Fläche beispielsweise vor scharfkantigen oder heißen Spänen zu schützen. Dabei muss geprüft werden, ob deren Einfluss kompensiert werden kann.

Die serienmäßige Anschlussleitung von Sensoren ist nur für leichte mechanische Beanspruchung geeignet. Falls die Einsatzumgebung eine stärkere Leitung erfordert, ist ein Schutzschlauch zur Verstärkung notwendig. Alternativ kann ein Gerät mit Anschlussraum eingesetzt werden. Die Anschlussleitung muss so verlegt werden, dass sie keine Kräfte auf das Gehäuse übertragen kann. Wenn die Anschlussleitung ständig bewegt werden muss, wird ebenfalls das Anbringen eines Schutzschlauches empfohlen (siehe dazu folgende Abbildung).

Bewegungsrichtung

Die obere Art der Montage ist nicht zu empfehlen, da hier die Gefahr der mechanischen Zerstörung besteht. Der Schalter sollte keinesfalls als "Endanschlag" verwendet werden.

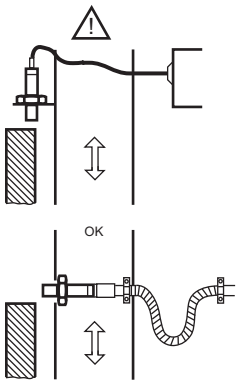


Abbildung 21: Bewegungsrichtung

2.5 Analoge Füllstandsensoren

Mit analog ist hier das erweiterte Funktionsprinzip gemeint. Wie unten beschrieben wird, gibt es auch Geräte mit binären Ausgängen als Grenzstandsmelder.

2.5.1 Technik und Funktionsprinzip

Elementarsensor

Der Elementarsensor besteht hier aus einer Reihe von rechteckigen Segmenten in Form von Metallfolien, die auf einen flexiblen Leiterfilm aufgebracht werden. Dieser wird, zu einem Zylinder gebogen und an einem Stab befestigt. Jedes Segment ist separat mit der Auswerteeinheit verbunden.

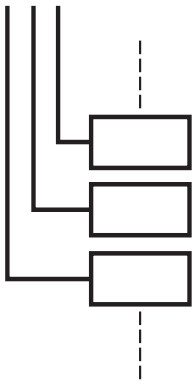


Abbildung 22: Segmente beim Füllstandssensor

Das ermöglicht die Bestimmung der Kapazität jedes einzelnen Segments. Jedes Segment stellt dabei eine Elektrode eines Kondensators dar. Die Gegenelektrode ist nicht, wie bei den oben beschriebenen Geräten, Teil des Sensors. Diese Funktion wird z. B. von der metallischen Wand des Gefäßes übernommen, in das der Sensor eintaucht.

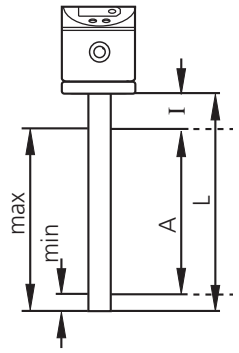
Gegenelektrode

Beim Einsatz in Kunststoffgefäßen muss z. B. ein geerdeter Metallstreifen, der die Funktion der zweiten Elektrode der Kondensatoren übernimmt, an der Wand des Gefäßes angebracht werden.

aktiver Bereich

Der Bereich, in dem die Segmente ausgewertet werden, wird aktiver Bereich genannt. Die Befestigung mit einer Schelle sollte am besten im inaktiven Bereich zwischen dem obersten Segment und dem Gehäuse der Auswerteelektronik erfolgen.

Wie unten erläutert wird, ist es aber auch möglich innerhalb der oberen 2/3 des aktiven Bereichs die Schelle anzubringen. Dabei reduziert sich der auswertbare Bereich auf den Bereich unterhalb der Schelle. In diesem Fall darf das Medium nicht bis unmittelbar an die Schelle ansteigen.



A: aktiver Bereich; L: gesamte Länge des Rohres; I: inaktiver Bereich

Abbildung 23: LK aktive Zone

Auswertung

Durch den Einsatz eines Mikroprozessors sind erheblich komplexere Auswertungen möglich als bei einem binären Sensor.
Das Verfahren beruht auf einem Vergleich der Kapazitäten der einzelnen Segmente. Jedes Segment wird durch ein Multiplexverfahren einzeln abgefragt, so dass eine Reihe von Kapazitäten ausgewertet werden kann. Dabei können mehrere Stufen unterschieden werden.
Die Ermittlung der Kapazität des untersten Segmentes ergibt ein Maß für die Dielektrizitätskonstante des Mediums. Diese kann als Referenz gesehen werden, mit der sich der Sensor auf das Medium abgleicht.
Es wird das erste Segment gesucht, dessen Kapazität geringer ist als die Referenz. Das ermöglicht eine Grobauswertung des Füllstands.
Bei diesem Segment haben wir den Fall eines teilweise gefüllten Kondensators, siehe 1.3 . Die Auswertung der Kapazitätsdifferenz zum Referenzwert ergibt die Feinauswertung des Füllstands. Die Auflösung beträgt 1 mm.

Damit ist zunächst die Auswertung abgeschlossen. Ein Einbau im Gefäß und selbst die Schelle oder der Flansch, die den Sensor halten, werden dabei ignoriert; sie können die Messung nicht stören. Sie verursachen zwar auch eine Veränderung der Kapazität aber an einem anderen Ort als der Füllstand.

Hinweise

Das ist der Hintergrund für die Hinweise zum praktischen Einsatz und die Montagehinweise, die in 3.5.5 zusammengefasst werden.

Die Daten über Messbereiche, Fehlergrenzen usw. sind in der Übersicht in 3.5.4 zu finden. Hier werden zunächst nur Werte genannt, die im Zusammenhang mit dem Funktionsprinzip von Bedeutung sind.

Geschwindigkeit

Die Schaltzeit oder Schaltfrequenz hat hier keine praktische Bedeutung. Wichtig ist, wie sich der Sensor verhält, wenn sich die Füllhöhe ändert. Wenn bei der Auswertung festgestellt wird, dass sich das Messsignal rasch ändert, dann wird zu einer dynamischen Messung übergegangen. Es wird nur, entsprechend Punkt 2. oben, das Segment verfolgt, bei dem sich der Füllstand gerade befindet. Wird die Veränderung langsamer oder kommt zum Stillstand, dann wird wieder zur Feinauswertung übergegangen.

100 - 300 mm/s

Die maximale Geschwindigkeit der Änderung der Füllhöhe, die so erfasst werden kann, beträgt, je nach Bauform, 100 - 300 mm/s.

Dielektrizitätskonstante > 2

Die relative Dielektrizitätskonstante ε_r des Mediums (siehe 1.3) sollte mindestens 2 betragen.

2.5.2 Praktischer Einsatz

In 2.5.1 wurde das Funktionsprinzip beschrieben. Damit lassen sich die folgenden Hinweise, auch die Montagehinweise, siehe 2.5.3, besser verstehen. Wenn die Zeit drängt, können diese Hinweise auch einfach, in Art eines "Kochbuchs" verwendet werden. Kurze Begründungen zu den Hinweisen werden kursiv eingefügt. Sie können gegebenenfalls übersprungen werden.

Link

Hinweise, die sich spezifisch auf die aktuellen Geräte beziehen sind in 3.5.5 zu finden. Hier folgen Hinweise, die sich aus dem allgemeinen Funktionsprinzip ergeben.

Wechsel des Mediums

Der Sensor stimmt sich automatisch bei jedem Messzyklus auf das Medium ab. Damit ist er unempfindlich gegen Veränderungen der Eigenschaften des Mediums. Bei einem abrupten Wechsel des Mediums wird jedoch empfohlen, den Sensor kurz vom Netz zu trennen (Reset), damit er sich neu initialisieren kann.

warum?

Wenn der Sensor sich z. B. auf Wasser mit $\varepsilon_r \cong 81$ abgestimmt hat und wird dann in ein Medium getaucht mit $\varepsilon_r \cong 2$, z. B. Öl, dann erkennt er dieses möglicherweise nicht.

Inbetriebnahme bei Überfüllung

Wenn der Behälter bei Inbetriebnahme bis über den aktiven Bereich des Sensors gefüllt ist, gelingt der Abgleich nicht mit Sicherheit. In diesem Fall wird empfohlen, den Sensor vom Netz zu trennen, den Behälter teilweise zu entleeren (bis unter den oberen Rand des aktiven Bereichs!) und dann den Sensor erneut in Betrieb zu nehmen.
Daten (Längen) zur Lokalisierung des aktiven Bereichs hängen von der Baulänge ab und sind in den Datenblättern zu finden (siehe auch 3.5.4).
Zu beachten ist dabei: wird die Schelle, die den Sensor hält, in diesem Bereich montiert, dann reduziert sich der Messbereich. Es ist nur der Teil, der sich unter der Schelle befindet, auswertbar.

warum?

Bei Überfüllung kann der Sensor möglicherweise das Medium nicht von Luft unterscheiden. Das bedeutet, er kann nicht leer von voll unterscheiden. Wenn die Schelle im aktiven Bereich montiert wurde und der Füllstand reicht bis zur Schelle, dann wird diese möglicherweise als Medium erfasst.

Unterfüllung

Dieser Fall ist normalerweise nicht kritisch. Der Sensor zeigt zwar eine Fehlermeldung an. Wenn jedoch das Medium über den unteren Rand des aktiven Bereichs ansteigt, dann gleicht er sich automatisch ab und die Fehlermeldung wird zurückgesetzt.
Wenn der Sensor während des Betriebs aus dem Behälter gezogen und wieder eingeführt wurde, wird zur Sicherheit ein Reset (kurze Trennung vom Netz) empfohlen.

warum?

Das unterste Segment wird immer als Referenz genommen. Wenn schon bei diesem kein Medium vorhanden ist (nur Luft) dann findet der Sensor kein Segment mit geringerer Kapazität. Die Anzeige eines Füllstands ist dann nicht möglich. Bei krassen Wechseln der Umgebungsbedingungen kann der Abgleich misslingen. Das gilt auch für den folgenden Punkt.

Berührung

Wird der aktive Bereich während des Betriebs berührt, z. B. mit der Hand oder einem geerdeten Schraubendreher, dann wird zur Sicherheit ein Reset (kurze Trennung vom Netz) empfohlen.

Medium

Der Sensor ist sehr stabil gegen Verschmutzung. Dennoch gibt es auch für dieses Messverfahren Grenzen. Ungeeignete Medien sind:
gut leitende oder stark anhaftende Medien (Shampoo, Zahnpasta, Klebstoffe usw.)
trockene Granulate mit geringer Dichte
stark inhomogene Medien (mehrere cm Wasser unter mehreren cm Öl), ein dünner Ölfilm stört nicht

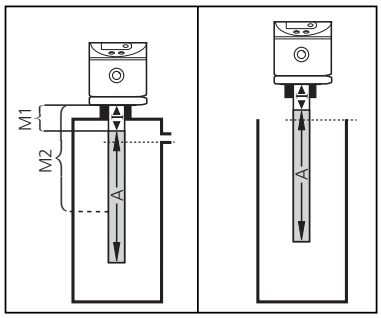
2.5.3 Montagehinweise

Wasser > 40° C

Bei Einsatz in Wasser und wasserähnlichen Medien mit Temperatur > 40°C wird der Einbau in ein Klimarohr empfohlen, siehe Zubehör.

Befestigung

Befestigen Sie Montageelemente möglichst innerhalb des inaktiven Bereichs (I; Montagebereich M1). Der aktive Bereich (A) sollte frei in den Behälter ragen, siehe Abbildung 24.
Für optimale Funktion wird empfohlen: Ein Teil des aktiven Bereichs sollte über der Oberkante des Behälters / über dem Überlauf stehen.
Sie können Montageelemente auch in der oberen Hälfte des aktiven Bereichs anbringen (möglicher Montagebereich, M2). Dadurch reduziert sich der aktive Bereich auf die Zone zwischen Montageelement und Stabende. In diesem Fall sollte das Montageelement über der Oberkante des Behälters / über dem Überlauf stehen.



M1: Montagebereich 1; M2: Montagebereich 2

Abbildung 24: LK Montage

Optimal ist die Montage mit der Schelle im inaktiven Bereich M1. Die Schelle kann auch im M2 angebracht werden. Dabei muss eine Reduzierung des Messbereichs in Kauf genommen werden; es wird nicht mehr die gesamte aktive Fläche genutzt.

Besondere Einbaubedingungen

Montieren Sie das Gerät bei Einbau in kleine Kunststoffbehälter möglichst in der Mitte des Behälters.
Bei verschmutzten Medien wird empfohlen: Befestigen Sie das Gerät in einer Zone, in der das Medium stark in Bewegung ist (z. B. am Zulauf).

Bei Einbau in metallische Steigrohre (Bypass) muss der Sensor in der Mitte des Rohres montiert werden. Der Rohrinnendurchmesser muss mindestens 120 mm betragen.
Metallische Gegenstände innerhalb des Behälters (z. B. metallische Rohre, Einbauten) müssen einen Mindestabstand von 60mm zum aktiven Bereich des Sensors einhalten. Andernfalls werden sie als Montageelement erkannt (dadurch reduziert sich der aktive Bereich auf den Bereich zwischen metallischem Gegenstand und Stabende).
Bei Einbau in metallische Behälter müssen folgende Abstände eingehalten werden:

- Sensor - Behälterwand: 40mm
- Sensor - Behälterboden10 mm

Montagezubehör

Verwenden Sie für sichere und einfache Montage das ifm-Montagezubehör, siehe ifm im Internet.

Zur Erfüllung der EMV-Richtlinie der EU, woraus sich die Berechtigung der CE-Kennzeichnung ergibt, muss das **Sensorgehäuse elektrisch mit Erde verbunden** werden. Dies geschieht entweder
mechanisch durch eine entsprechende Halterung, die elektrisch an Erde gekoppelt ist oder
mittels des im Lieferumfang enthaltenen Erdungsrings.

Die Erde / das Behälterpotential dienen dem Sensor als Referenz. Dies bedeutet, dass ein Messstrom vom Sensorstab durch das zu erkennende Medium zurück zum Sensor fließen muss. Ist das Sensorgehäuse nicht geerdet, fließt der Messstrom undefiniert über die elektrischen Zuleitungen zurück zur Erde. Dies kann zu einer Beeinflussung anderer Messkomponenten führen.

Der Füllstandsensor entspricht der Norm EN 50081-2 und ist ein Produkt der Klasse A. In Haushaltsumgebung kann das Gerät Rundfunkstörungen verursachen. Deshalb muss der Anwender gegebenenfalls geeignete Maßnahmen ergreifen.

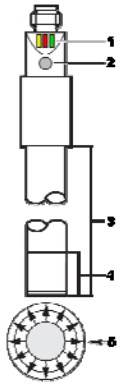
2.6 Bauform LI

LI

Diese Bauform soll hier nur kurz angesprochen werden, weil die Weiterentwicklung noch im Gange ist. Wie es häufig der Fall ist, wurde das Gerät im Hinblick auf eine spezielle Applikation entwickelt. Daher sind zurzeit die Anwendungen auf die Abfrage von Öl in geschlossenen Behältern und Kühlschmiermittel eingeschränkt. Die Anwendung in allen anderen Medien muss vorher in der Applikationsabteilung überprüft werden.

Kurzbeschreibung

Das Gerät kann man einfach als ein Zwischending zwischen dem binären Sensor und dem analogen Füllstandsensor bezeichnen. Das wird in der folgenden Abbildung 25 deutlich.



1: Drei LEDs; 2: Programmiertaste; 3: Sondenstab; 4: Aktive Zone (25 mm) …; 5: … mit radialer Erfassungscharakteristik

Abbildung 25: LI

Der LI erfasst den Füllstand wie der LK. Das Messsignal wird nur nicht weiter ausgewertet, umgeformt, einem Display zugeführt sondern mit einer einstellbaren Schwelle verglichen. Das Ausgangssignal ist somit binär.

3 Kapazitive Sensoren der ifm

Hier werden zunächst die kapazitiven Sensoren und Füllstandsensoren, deren Eigenschaften sich nicht stark unterscheiden, behandelt. Weil der Unterschied zu den analogen Füllstandsensoren größer ist, werden sie separat in 3.5 beschrieben. Zur Bedeutung der Bezeichnungen siehe 1.1 .

3.1 Mechanischer Aufbau

Hauptgruppen

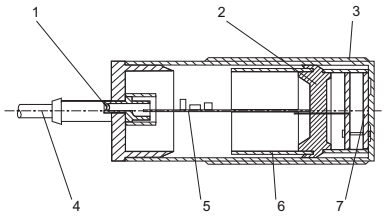
Man kann hier Hauptgruppen unterscheiden, die jeweils aus diversen Einzelkomponenten bestehen.

- Gehäuse
- Elementarsensor
- Schaltung
- Anschluss

Man kann diese aber nicht als unabhängig voneinander ansehen. Im Folgenden werden sie daher auch nicht getrennt besprochen sondern im Zusammenhang.

Aufbau eines efectors

Die Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines kapazitiven Sensors. Früher wurden die Bauteile auf eine übliche, starre Platine aufgebracht und verlötet. Die Schaltung heute ist als flexibler Leiterfilm mit SMD-Bauteilen ausgeführt. Der Elementarsensor besteht bei den meisten Typen aus becherförmigen Elektroden (siehe 2.2.1). Beim Typ KNQ und beim analogen Füllstandsensor bestehen diese aus flächenhaften Leiterfolien auf dem Film.



1: LED; 2: Kompensationselektrode; 3: Gehäuse; 4: Anschlussleitung; 5:´Bauelemente Träger; 6: Masseelektrode; 7: aktive Elektrode

Abbildung 26: Aufbau eines kapazitiven Sensors

Ein weiterer Unterschied zwischen der früheren und der neuen Generation der kapazitiven Sensoren ist zu beachten. In Abbildung 26 ist ein Sensor mit Potentiometer dargestellt, also ein Gerät der früheren Generation. Heute wird zur Einstellung eine Taste verwendet (vgl. Abbildung 27 und Abbildung 31). Der innere Aufbau ist ähnlich, aber das Potentiometer entfällt.

Trend Integration

Zur Verringerung der Bauelementezahl und zur Realisierung von Zusatzfunktionen werden immer häufiger spezielle integrierte Schaltungen eingesetzt. Diese ICs werden nach ifm-Vorgaben von Halbleiterherstellern gefertigt.
Sie ermöglichen insbesondere die automatische Einstellung des optimalen Schaltpunktes, siehe 3.4 , mit einer Taste, statt aufwendig ein Potentiometer einzubauen. Dadurch sinkt für den Anwender die Gefahr von Bedienungsfehlern und Beschädigungen des Geräts. Preissteigerungen können abgefangen werden.

Verguss

Nach Montage der Elektronik in das Gehäuse werden in der Regel die dann noch vorhandenen Hohlräume mit einer Vergussmasse ausgefüllt. Das hat den Vorteil, dass das Gehäuse eine noch größere mechanische Stabilität erhält, die Elektronik gegen Vibration geschützt ist und das Eindringen von Staub und Feuchte verhindert wird. So erfüllen die Geräte die Anforderungen der Anwender nach einem universell einsetzbaren und robusten Schalter.

In Zukunft werden wahrscheinlich vermehrt Geräte ohne Verguss zum Einsatz kommen. Das Thema Verguss wird in den Schulungsunterlagen induktive Sensoren ausführlicher diskutiert.
Der Verzicht auf Verguss erbringt vor allem die Vorteile: Leichtere Entsorgung von Altgeräten, bessere Wärmeabfuhr der Bauteile unter Belastung und weitere Verbesserung der Dichtigkeit durch den Einsatz dem Prozess besser angepasster Werkstoffe.

Einstellung

Bei kapazitiven Sensoren ist die Empfindlichkeit einstellbar, siehe 2.3.1. Bei manchen Typen geschieht das noch mit einem Potentiometer (siehe Abbildung 26).

Potentiometer

Bei diesen Typen muss besondere Aufmerksamkeit auf die Abdichtung des Potentiometers oder der Verstellschraube gerichtet werden, weil eine Öffnung im Gehäuse erforderlich ist. Es gab auch einmal den Ansatz, die Empfindlichkeit nicht elektrisch, über ein Potentiometer, einzustellen sondern mechanisch, über das Verschieben einer Elektrode. Dieser Ansatz wurde inzwischen wieder aufgegeben.

KN

Bei diesen neueren Typen entfällt das Potentiometer. Hier stellt sich der Sensor automatisch auf den optimalen Schaltpunkt ein. Z. B. bei der Erfassung eines Mediums durch eine Wand hindurch soll die Wand nicht, wohl aber das Medium zuverlässig erkannt werden.
Der Abgleich wird beider Bauform KNM über eine Folientaste, siehe Abbildung 27, bei der Bauform KNQ über einen induktiven Sensor vorgenommen, siehe ifm im Internet. Bei diesem Gerät muss die aktive Fläche des induktiven Sensors z. B. mit einem Schraubendreher berührt werden, um den Abgleich zu bewirken.

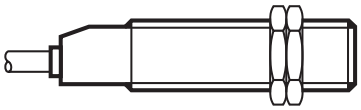


Abbildung 27: Bauform KN

Der innere Aufbau ist ähnlich wie bei Abbildung 26. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass die Programmiertaste, deren Position in Abbildung 27 mit einem Pfeil markiert wurde, das Potentiometer ersetzt. Den Ablauf der Einstellung zeigt Abbildung 31.

Anschluss

Bei der Anschlusstechnik gibt es kaum wesentliche Änderungen. Im Laufe der Zeit verschieben sich nur die Gewichte.

Steckergeräte

Weil bei der Wartung automatisierter Anlagen, z. B. beim Austausch eines ausgefallenen Geräts, der Zeitaufwand ein wesentlicher Kostenfaktor ist, ist ein Trend zum Steckergerät zu beobachten. Die mögliche Fehlerquelle einer undichten Verbindung wird dabei in Kauf genommen. Sie kann aber nur z. B. durch zu lockeres oder zu festes (Gefahr der mechanischen Beschädigung) Anziehen der Mutter undicht werden. Hier hat sich der Universalstecker mit M 12 Gewinde durchgesetzt.

Lebensmittelindustrie

Um den speziellen Anforderungen dieser Applikation gerecht zu werden, gibt es dafür optimierte Geräte. Sie sind z. B. mit vergoldeten Kontaktstiften ausgestattet. Der Griffkörper der Kabeldose sollte aus PVC bestehen, weil dieses Material am besten Wasser und Reinigungsmitteln widersteht.

Drehmoment

In der Regel ist es nicht erforderlich einen Schlüssel mit einstellbarem maximalem Drehmoment zur Montage zu verwenden. Es sollte klar sein, dass mit Kunststoffgewinden sensibler umgegangen werden sollte als mit Metallgewinden. Bei Geräten mit Klemmenraum muss die Verschraubung fest genug angezogen werden, um die Schutzart zu gewährleisten. (siehe Schulungsunterlagen Schutzarten).

Gehäusewerkstoffe

Kapazitive Sensoren sind als Sensoren in industriellen Prozessen in besonderem Maße Umwelteinflüssen wie Hitze, Kälte, Staub, Vibration, Feuchte, aggressiven Flüssigkeiten und Dämpfen usw. ausgesetzt. Sie müssen daher in Gehäusen untergebracht werden, die gegen diese Einwirkungen beständig sind.

Der Gehäusewerkstoff ist in der Regel ein glasfaserverstärkter Kunststoff, der eine gute chemische Beständigkeit und ein hohes Isoliervermögen aufweist. Zur weiteren Verbesserung der Gehäusestabilität im Hinblick auf die Befestigung werden Gewindegeräte auch mit Metallhülsen ausgestattet.

PBTP

Der in der Regel von der ifm verwendete Gehäuse-Kunststoff ist ein cadmiumfreies Polybutylenterephthalat (PBTP), das z. B. unter dem Markennamen Pocan von der Firma Bayer produziert wird. Informationen zu Erfahrungen mit der chemischen Beständigkeit gegenüber verschiedenen Medien können angefragt werden.

Metall

Bei zylindrischen Bauformen setzte die ifm früher bei Standard-Geräten vernickeltes Messing ein, heute wird es mit Optalloy beschichtet. Das ist eine Legierung aus Kupfer, Zinn und Zink, auch unter dem Begriff Weißbronze bekannt. Beim bündig einbaubaren Typ (siehe 2.4.1) reicht die Metallhülse bis zur Stirnfläche.

3.2 Bauformen

Das Standardprogramm der ifm umfasst die in der Industrie gängigen quaderförmigen und zylindrischen Bauformen, die auch in der IEC 60947-5-2 beschrieben werden..

Quaderförmig

Diese Bauform wird hauptsächlich verwendet für:
Geräte mit großer Reichweite
Die große Reichweite, bei 50 oder 60 mm, wird durch große Elektroden erreicht. Diese werden auf der Flachseite untergebracht, z. B. bei 120 × 80 mm^2 (siehe Tabelle unten).

KNQ

Diese Bauform ist ein Spezialfall der Quaderform. Genau genommen ist sie trapezförmig. Die abgeschrägten Seitenflächen enthalten die Bohrlöcher für die Befestigung. Alternativ lässt es sich auch mit einem Spannband, z. B. an einem Rohr, befestigen.
Die Elektrode wird flächenförmig direkt auf den Leiterfilm aufgebracht. Dieses Gerät ist speziell auf das Erfassen von Füllständen ausgelegt, ist also ein Füllstandsensor. Es erfüllt die Forderung der Anwender nach einem besonders kompakten Gerät. Wegen der geringen Höhe ist das Steckergerät mit einem M 8 Stecker ausgestattet.

Das Gehäuse besteht dabei aus Kunststoff (Pocan).

Zylindrisch glatt

Die allererste Generation der efectoren hatte diese Bauform. Sie wird auch heute verwendet. Sie lassen sich einfach mit einer Schelle montieren und auf den richtigen Abstand bringen. Die Schelle gehört normalerweise zum Lieferumfang.
Lediglich beim Ersatz der Schelle sollte darauf geachtet werden, dass die passende Originalschelle verwendet wird, um mechanische Beschädigung (Quetschen) zu vermeiden. Das Gehäuse besteht hier meist aus Kunststoff (Pocan).

Zylindrisch mit Gewinde

Auch diese Bauform wird häufig verwendet. Die Geräte lassen sich an einem Haltewinkel (als Zubehör erhältlich) oder einem einfach einzubringendem Bohrloch mit Mutter und Kontermutter fixieren.

Speziell das bündig einbaubare Gerät KNM hat diese Bauform. Das Gehäuse besteht dabei aus Metall.

Bauform		Maße in mm	Werkstoff
Quader		120 × 80 × 30 105 × 80 × 40 60 x 36 x 10	Kunststoff
	glatt	20 x 85 34 × 81	Kunststoff

Zylinder	Gewinde	M18 x 1 M30 × 1,5 M 34 x 1,5	Kunststoff oder Metall

Bei der Bauform zylindrisch sind Durchmesser und Länge bzw. Gewindemaß angegeben. Die Längenmaße beziehen sich auf das Gehäuse, also bis zum Ansatz des Kabels bzw. des Gewindestutzens.

ich will mehr wissen!

Weitere Angaben, Maßzeichnungen, Informationen über zulässige Toleranzen der Maße usw. sind im Katalog oder bei www.ifm.com zu finden. Bei der Übersicht über die Bauformen ist auch der Typenschlüssel im Anhang, nützlich.

Anschluss

Es gibt 3 Varianten:

Kabel

Hier ist die Anschlussleitung fest mit dem Gerät verbunden. Die Fehlerquelle: undichte Steckverbindung durch unsachgemäße Montage wird hier sicher ausgeschlossen.

Stecker

Diese Geräte mit dem Vorteil der einfachen Austauschbarkeit werden immer mehr eingesetzt. Auch bei Erstmontage ist ein Fehler durch vertauschte Kabel ausgeschlossen.
Wegen der wachsenden Bedeutung gibt es inzwischen einen eigenen Prospekt zur Übersicht der Kabeldosen. Außerdem werden in den Katalogen und Prospekten oder im Internet (siehe oben) für die Sensoren mit Steckeranschluss Standardkabeldosen oder Kabeldosen mit besonderen Eigenschaften, die z. B. für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie besonders geeignet sind, empfohlen.

Klemmenraum

Als weitere Variante sind spezielle Geräte mit Anschlussraum erhältlich, bei denen der Anwender eine Leitung seiner Wahl montieren kann. Die Dichtigkeit des Anschlussraums wird durch eine PG-Verschraubung erreicht, durch die das Kabel geführt wird.
Hier gibt es die zylindrische Bauform mit M 18, bei der das Kabel entweder in Richtung der Längsachse verläuft oder, bei beengten Platzverhältnissen, durch Schwenken des patentierten Anschlussstutzens um 90° abgewinkelt zugeführt werden kann.

Als Beispiel für eine anwendungsorientierte Gehäuseform sei ein kapazitiver Sensor genannt, der als verschleißfreier Schalter an Fußgängerbedarfsampeln eingesetzt wird.

3.3 Elektrische Daten

Es gibt eine Reihe von elektrischen Eigenschaften, die allen elektronischen, binären Positionssensoren, z. B. induktiven und kapazitiven Sensoren, optoelektronischen Sensoren usw. gemeinsam sind. Daher werden sie separat ausführlich behandelt, siehe Schulungsunterlagen Anschlusstechnik. Hier wird im Folgenden nur kurz auf wichtige Punkte und Besonderheiten hingewiesen, ohne dass die verwendeten Begriffe noch einmal ausführlich erläutert werden.

Die Daten, die den analogen Füllstandsensor betreffen, sind für diesen spezifisch und werden hier in 3.5 behandelt.

3.3.1 Wichtige Parameter

Folgende Parameter sind beim praktischen Einsatz von Bedeutung:

Anschlusstechnik

Binäre Sensoren werden in so genannter 2-Leiter- und 3-Leiter-Technik angeboten. Bei 3-Leiter-Schaltern wird die Betriebsspannung zwischen $+U_B$ und 0 V angelegt und das Schaltsignal über eine Extraleitung zur Last geführt. Bei 2-Leiter-Schaltern ist die Betriebsspannung diejenige, die der Reihenschaltung von Sensoren und Last gemeinsam zur Verfügung steht. In der Praxis sind dabei folgende Punkte zu beachten:
Spannungsabfall und Reststrom bei 2-Leitern
Bei früheren Geräten konnte der Reststrom von einigen mA z. B. beim Anschluss an elektronische Steuerungen zu unsicheren Schaltzuständen führen. Bei neueren Geräten, speziell den quadronorm-Geräten, ist es gelungen den Reststrom auf typischerweise 0,4 bis 0,6 mA zu reduzieren. Wegen des beträchtlich geringeren Verdrahtungsaufwands sind die aktuellen 2-Leiter eine kostengünstige Alternative zu den 3-Leitern (wenn nicht ohnehin ein System wie z.B. AS-Interface verwendet wird).
Reihen- und Parallelschaltung
Beim aktuellen Stand der Technik werden elektronische Positionssensoren direkt auf SPS-Eingänge geführt und durch die Programmlogik verknüpft. Daher ist dieser Punkt heute kaum noch von Bedeutung. Falls es aber nicht zu umgehen ist, müssen Besonderheiten beachtet werden, siehe Schulungsunterlagen Anschlusstechnik. Diese betreffen wieder den Reststrom und Spannungsabfall bei 2-Leitern und auch bei 3-Leitern mögliche Auswirkungen auf die Bereitschaftsverzögerungszeit z. B. bei Reihenschaltung..

Spannungsversorgung

Maßgebend für die Praxis ist nicht die Nennspannung sondern der Spannungsbereich, in dem die Geräte zuverlässig arbeiten. Diese sind in den Datenblättern und auf dem Typenschild zu finden. Die Normen, die der CE-Kennzeichnung zu Grunde liegen, definieren u. a. den Grad der leitungsgeführten Störeinflüsse, denen das Gerät widerstehen muss, siehe Schulungsunterlagen CE-Kennzeichnung.

Restwelligkeit

Bei Gleichspannung ist zu beachten, dass auch die Restwelligkeit die Grenzwerte nicht überschreitet. Es genügt nicht, nur einen effektiven Mittelwert zu kontrollieren. Wenn am Netzteil gespart wurde, so dass keine hinreichend geglättete Spannung zur Verfügung steht, dann ist die zuverlässige Funktion nicht mehr gewährleistet.

Wenn die Restwelligkeit unter den Grenzwert der Betriebsspannung des Sensors sinkt, hilft ein Glättungskondensator. Als Faustregel kann hierfür gelten: 1000 µF pro 1 A Stromstärke.

Schutzbeschaltung

Je nach Bauform und Typ sind die Geräte mit unterschiedlichen Schutzbeschaltungen ausgeführt. Im Einzelnen ist das der Schutz gegen
Überlast
Kurzschluss
Verpolung

3.3.2 Übersicht

Die folgende Übersicht zeigt die "Familie" der kapazitiven Sensoren in Form eines "Baumes". DC und AC dürften bekannte Begriffe sein. UC steht für universal current, oder Allstrom-Geräte. Diese können in den angegebenen Grenzen an Gleich- oder Wechselstrom angeschlossen werden.

Die Abbildung ist zurzeit in Arbeit.

Der * kennzeichnet Geräte mit Kurzschlussschutz

Man erkennt, dass die Strombelastbarkeit bei Halbleiterausgängen bauformabhängig zwischen ca. 100 - 400 mA liegt.

Inzwischen hat sich die Nennspannung von 24 V DC als Steuerspannung weitgehend durchgesetzt. Andere Spannungen werden noch in speziellen oder Ländern verwendet. Im Folgenden wird ein Beispiel für Anschlussschemata für DC- Geräte gezeigt.

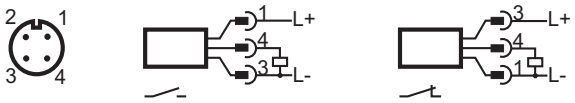


Abbildung 28: Anschlußschema1

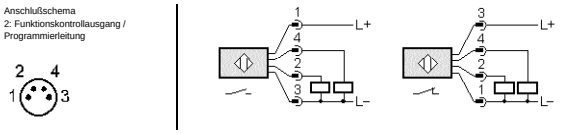


Abbildung 29: Anschlussschema KNQ

Die Bauform KNQ verfügt über einen Funktionskontrollausgang, der bei unsicherem Schaltzustand ein Signal führt. Das wird auch optisch über die rote LED angezeigt, siehe 3.4 .

quadronorm

Eine Besonderheit stellen die Quadronormgeräte dar (siehe 3.7.2). Sie arbeiten in beiden Polaritäten.

3.4 Einstellung des Schaltpunktes (binär)

Dieses Kapitel bezieht sich ebenfalls auf die binären kapazitiven Sensoren und Füllstandsensoren.

Auch ein kapazitiver Sensor, der nur Objekte erfassen soll und ansonsten nicht von Objekten oder Medien (Verschmutzung, Feuchtigkeit) in seiner Umgebung beeinflusst wird, braucht nicht unbedingt eingestellt zu werden. Eine Einstellung ist aber in der Regel bei der häufigen Anwendung, der Erkennung eines Mediums durch eine (nicht metallische!) Wand hindurch erforderlich, siehe 2.3.4.

Bei der früheren Generation geschah das über das Potentiometer:
die Empfindlichkeit wurde soweit verstellt, bis der Sensor gerade auf die Wand ansprach
die Empfindlichkeit wurde soweit zurückgenommen, dass die Wand, selbst bei anhaftendem Medium, nicht mehr erkannt wurde
es musste geprüft werden, ob der Sensor nun zuverlässig auf das Medium anspricht
Ob die Einstellung optimal oder unsicher war, ließ sich nicht feststellen schon auf Grund der Nichtlinearität des Signals, siehe Abbildung 16.

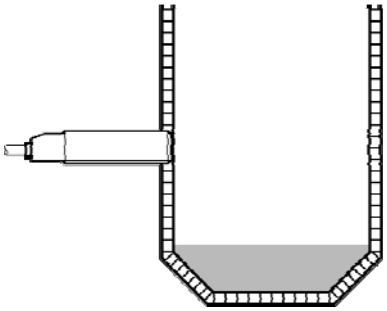


Abbildung 30: Leerabgleich

Bei den binären Füllstandsensoren ist die Einstellung erheblich sicherer und komfortabler. Im Internet lässt sich die Einstellung der Bauform KNQ simulieren. Es wird empfohlen das dort auszuprobieren. Der Leerabgleich beim KN wird in Abbildung 31 beschrieben.

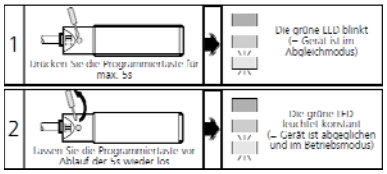

1
Drücken Sie die Programmiertaste für max. 5s
Die grüne LED blinkt (= Gerät ist im Abgleichmodus)
2
Lassen Sie die Programmiertaste vor Ablauf der 5s wieder los
Die grüne LED leuchtet konstant (= Gerät ist abgeglichen und im Betriebsmodus)

Abbildung 31: Leerabgleich beim KN

In den meisten Fällen genügt der Leerabgleich. Dieser lässt sich auch über eine Steuerung, über die Programmierleitung, siehe 3.3.2, vornehmen. In kritischen Fällen ist ein zusätzlicher Vollabgleich möglich, der auch über die Taste vorgenommen wird, siehe Betriebsanleitung.

rote LED

Die rote LED erfüllt eine ähnliche Funktion wie die Montagehilfe bei induktiven Sensoren (siehe Schulungsunterlagen induktive Sensoren). Die rote LED zeigt **keine Gerätestörung** an, sondern dass sich das interne Sensorsignal in der Nähe der Schaltschwelle befindet. Dabei sind 2 Fälle zu unterscheiden:
Normaler Betrieb / Sicheres Funktionieren
Die rote LED leuchtet während des Wechselns zwischen "Objekt vorhanden" und "Objekt nicht vorhanden" vorübergehend auf.
Warnung vor möglicher Fehlfunktion
Leuchtet die rote LED konstant, sind die Arbeitsbedingungen nicht mehr optimal. Z. B. kann eine durch Schmutzablagerungen verursachte Schaltabstandsverschiebung erkannt werden. Sie können Gegenmaßnahmen ergreifen, bevor es zu einer Fehlfunktion kommt. Führen Sie in z.B. einen erneuten Abgleich durch oder reinigen Sie das Gerät.

AS-i

Bei optoelektronischen Sensoren ist bei manchen Typen ein weiterer Schaltausgang herausgeführt, um einen unsicheren Schaltzustand zu melden. Das wird auch als Vorausfallmeldung bezeichnet und kann z. B. dazu verwendet werden, eine Verschmutzung zu beseitigen, bevor Störungen auftreten.
Bei kapazitiven Sensoren wäre diese Option auch denkbar, wurde aber bisher nicht realisiert. Dagegen spricht z. B. der zusätzliche Aufwand, wenn pro Sensor zwei Ausgänge mit der Steuerung verbunden werden müssen. Deshalb wird bei diesen Sensoren der unsichere Schaltzustand nur über die LED im Sinne einer Montagehilfe angezeigt.

Anders sieht es jedoch bei den so genannten intelligenten Sensoren aus. Diese sind direkt Teilnehmer am AS-i System (siehe Katalog) und verfügen über bis zu 4 Datenbits. Damit kann neben dem unsicheren Schaltzustand z. B. auch die Betriebsbereitschaft überwacht werden. Beim kapazitiven AS-i Sensor lässt sich darüber hinaus die Empfindlichkeit über Parameter ferneinstellen.

3.5 Analoge Füllstandssensoren

3.5.1 Bauform und mechanische Eigenschaften

Bauform

Es gibt hier im Wesentlichen nur eine Bauform in zurzeit drei mechanischen Varianten Diese unterscheiden sich durch die Länge des Messstabes.

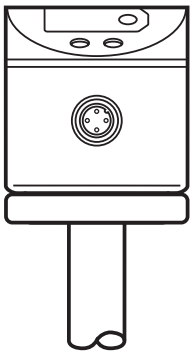


Abbildung 32: Bauform LK

Das Gerät besteht aus zwei Komponenten:
Auswerteeinheit mit Display und elektrischem Anschluss
Messstab als Träger der Kondensatorsegmente (siehe 2.5.1)

Die drei unterschiedlich langen Messstäbe unterscheiden sich durch die Anzahl der Kondensatorsegmente. Bedingt durch das Messprinzip, siehe 2.5.1, lässt sich die Länge nicht wesentlich vergrößern. Bei größerer Länge gäbe es mehr Segmente und damit immer mehr Leiterbahnen zur Auswerteeinheit, für die dann kein Platz mehr auf dem Messstab wäre.

Weitere Unterschiede bestehen in der Ausgangsschaltung, siehe 3.5.4.

Mechanik

Hinweise zur Montage sind schon in 2.5.3 zu finden. Noch einmal kurz zusammengefasst:
senkrechter Einbau, Auswerteeinheit oben
Befestigungsschelle optimal im oberen inaktiven Bereich, auch im aktiven Bereich möglich, nur nicht im unteren Drittel

Druckfestigkeit

Maximaler Behälterdruck bei Einbau mit ifm-Montagezubehör: 0,5 bar. Kurzzeitig (bis 1 Minute) ist ein Überdruck von 3 bar möglich.

Material

Werkstoffe des Gehäuses:

EPDM/X (Santoprene)
FPM (Viton);
Messing optalloybeschichtet
NBR (Buna N)
PA
PBTP (Pocan)
PC (Macrolon)
PP (Polypropylen)
Werkstoffe in Kontakt mit dem Medium
PP (Polypropylen)

Der Einsatz anderer Materialien, z. B. PTFE oder Glas, die im Kontakt mit dem Medium stehen, ist denkbar, erfordert aber noch Untersuchungen.

Vibrationsfestigkeit

Ständige Vibrationen mit hoher Amplitude belasten speziell bei langem Messstab die Verbindung zwischen Messstab und Auswerteeinheit. Um solchen extremen Belastungen besser standhalten zu können, wurde die Konstruktion dieser Verbindung inzwischen geändert. Die Vibrations- und Schockfestigkeit nach Norm sind im Datenblatt oder der Betriebsanleitung zu finden.

3.5.2 Display

MMI

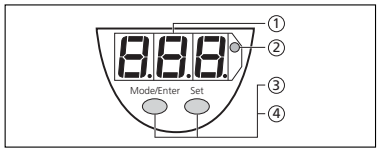
Das Gerät ist ausgestattet mit:
einem dreistelligen LED-Display sowie zusätzlichen LEDs zur Anzeige des Schaltzustands und
zwei Programmiertasten.

Transfer

Wer schon einmal andere Fluidsensoren der ifm programmiert hat, z. B. Druck oder Temperatur, siehe Schulungsunterlagen Drucksensoren oder Schulungsunterlagen Temperatursensoren, der wird feststellen, dass die Programmierung dieser Geräte immer nach dem gleichen Schema abläuft. Natürlich gibt es Besonderheiten, was die Messgröße, die Einheit, den Wertebereich usw. betreffen. Trotzdem kann man fast sagen: wer eines kennt, der kennt alle. Daher muss auf die Programmierung hier nicht sehr ausführlich eingegangen werden.

wo finde ich mehr?

Die ausführlichen Anleitungen sind im pdf-Format im Internet (Erinnerung: zur Homepage kommt man über www.ifm.com) zu finden, wenn auf die Bestellnummer des entsprechenden Geräts geklickt wird. Es öffnet sich zunächst das Datenblatt. Durch einen Klick auf „weitere Informationen“ gelangt man schließlich zur Bedienungsanleitung. Dieser wurden auch die folgenden Abbildungen entnommen.



①	LED-Display	Anzeige des Füllstands, Anzeige der Parameter und Parameterwerte
②	LED rot	Anzeige des Schaltzustands; leuchtet, wenn der Schaltausgang durchgeschaltet ist
③	Einstelltaste Mode / Enter	Anwahl der Parameter und Menüpunkte, Bestätigen der Parameterwerte
④	Einstelltaste Set	Einstellen der Parameterwerte (kontinuierlich durch Dauerdruck; schrittweise durch Einzeldruck)

Abbildung 33: Display beim LK

Das numerische Display zeigt:

- beim Einschalten die Initialisierungsphase während der Bereitschaftsverzögerungszeit
- den Füllstand beim Normalbetrieb
- Fehlermeldungen bei Störungen
- Parameter bei der Programmierung

Hier werden zunächst Beispiele für die Anzeigen ohne Betätigung der Tasten beschrieben.

Ausgänge

Es gibt aktuell zwei Typen (jeweils mit den drei Längen des Messstabs), die sich durch die Beschaltung der Ausgänge unterscheiden, siehe 3.5.4.

vier binäre Ausgänge	4 DO
ein binärer und ein analoger Ausgang	1 DO 1 AO

Diese Abkürzungen (DO für digital output und AO für analog output) werden im Folgenden verwendet.
Am Display ist die unterschiedliche Anzahl der LEDs zur Anzeige des Schaltzustands zu erkennen. Abbildung 33 zeigt also ein Gerät mit 1 DO 1 AO.

3.5.3 Programmierung

Die Geräte mit unterschiedlicher Ausgangsbeschaltung unterscheiden sich natürlich auch leicht durch die programmierbaren Parameter.

Die Programmierung lässt sich auch (in einer Simulation) bei der ifm im Internet unter Virtuelle Produktbedienung selbst ausprobieren.

Übersicht

Eine Übersicht zu den Menüs und der Programmierung wird in folgenden Tabellen gezeigt.

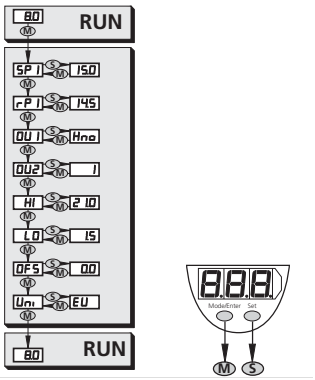


Abbildung 34: Menü beim LK

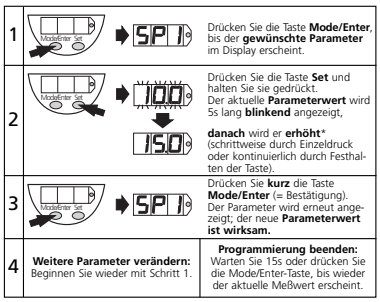

1
Drücken Sie die Taste **Mode/Enter**, bis der **gewünschte Parameter** im Display erscheint.
2
Drücken Sie die Taste **Set** und halten Sie sie gedrückt. Der aktuelle **Parameterwert** wird 5s lang **blinkend** angezeigt,
danach wird er **erhöht***
(schrittweise durch Einzeldruck oder kontinuierlich durch Festhalten der Taste).
3
Drücken Sie **kurz** die Taste **Mode/Enter** (= Bestätigung). Der Parameter wird erneut angezeigt; der neue **Parameterwert ist wirksam.**
4
Weitere Parameter verändern: Beginnen Sie wieder mit Schritt 1.
Programmierung beenden: Warten Sie 15s oder drücken Sie die Mode/Enter-Taste, bis wieder der aktuelle Meßwert erscheint.
*Wert verringern: Lassen Sie die Anzeige bis zum maximalen Einstellwert laufen. Danach beginnt der Durchlauf wieder beim minimalen Einstellwert.

Abbildung 35: Programmierung des LK

Die meisten Punkte erklären sich selbst. Die Unterschiede liegen zum einen darin, dass beim Gerät mit 1 DO nur dieser eine Ausgang parametriert werden kann und zum anderen durch die Umschaltung des AO auf Strom- bzw. Spannungsausgang. Von den gemeinsamen Parametern, die für den analogen Füllstandsensor spezifisch sind, sollen die folgenden beiden herauszuheben:

OFS

Wenn der Abstand zwischen dem Boden des Gefäßes und der Unterkante des Messstabs bekannt ist, dann kann dieser Wert als Offset eingetragen werden. Dieser Wert wird zum gemessenen Füllstand addiert. Das Display zeigt dann den tatsächlichen Füllstand an.

bin

Das Gerät mit 4 DO kann als quasi analoges Gerät im Binärmodus betrieben werden. Der Füllstand wird dann durch 4 Bits, also aufgelöst in 16 Schritte, ausgegeben.

Die weiteren Parameter entsprechen weitgehend denen bei Druck und Temperatur, siehe Schulungsunterlagen Drucksensoren und Schulungsunterlagen Temperatursensoren. Dort werden auch die Begriffe Hysterese und Fenster ausführlicher beschrieben. Hier sollen sie kurz dargestellt werden.

Ablauf

Der Ablauf der Programmierung ist in der Abbildung 35 gezeigt.

Die Mode/Enter-Taste dient zur Auswahl des gewünschten Menüpunktes. Möchte man den Parameter nur kontrollieren, genügt es die Set-Taste kurz anzutippen. Wie er verändert wird, ist der Abbildung 34 und Abbildung 35 zu entnehmen.

Internet

Ein Beispiel für die Einstellung des Schaltpunktes findet sich im Internet unter der Bezeichnung "Virtuelle Produktbedienung" für den elektronischen (analogen) Füllstandsensor.

3.5.4 Elektrische Daten und weitere Eigenschaften

DO (digital output)

Die elektrischen Daten der Ausgänge zeigen keine Besonderheiten. Hier sollen nur die wesentlichen Werte, die natürlich auch im Datenblatt zu finden sind, kurz aufgeführt werden.

Betriebsspannung [V]	18 ... 30 DC
Strombelastbarkeit [mA]	200 bei 1 DO 1 AO 400 bei 4 DO
	Kurzschlussschutz getaktet, Verpolungssicher / Überlastfest
Spannungsfall [V]	< 2,5
Stromaufnahme [mA]	< 80

Analogausgang	4 ... 20 mA (max. 500 Ω) 0 ... 10 V (min. 2000 Ω)

Die verwendeten Begriffe sind in den Schulungsunterlagen Anschlusstechnik beschrieben.

Es folgen Beispiele für Anschlussschemata, zunächst die Pinbelegung.

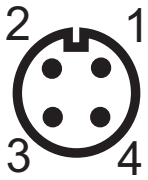


Abbildung 36: Pinbelegung LK

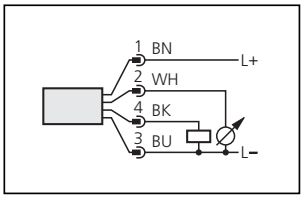


Abbildung 37: Anschlussschema LK3

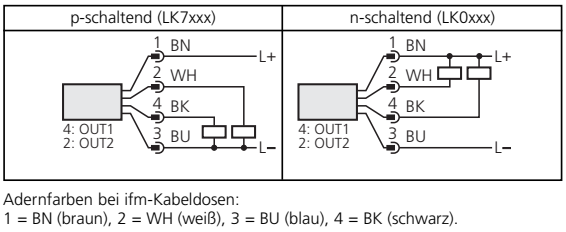


Abbildung 38: Anschlussschema LK7

LK8

Der LK8 hat vier Schaltausgänge. Sie können entweder als Ausgänge wie bei den anderen Typen verwendet werden oder als eine Art Ausgang eines AD-Wandlers mit 4 Bit Auflösung. Weitere Informationen sind bei zu finden.

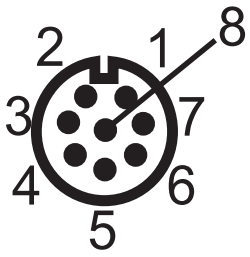
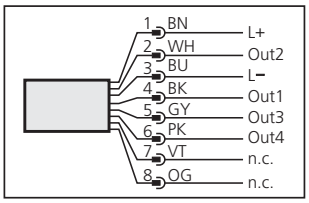


Abbildung 39: Pinbelegung LK8



Adernfarben bei ifm-Kabeldosen:
1 = BN (braun),
2 = WH (weiß)
3 = BU (blau),
4 = BK (schwarz)
5 = GY (grau)
6 = PK (rosa)
7 = VT (violett)
8 = OG (orange)
n.c. = nicht belegt

Abbildung 40: Anschlussschema LK8

Bei den folgenden Werten handelt es sich, genau genommen, nicht direkt um elektrische Daten. Weil sie aber natürlich das Verhalten der Ausgänge beeinflussen, werden sie auch hier aufgeführt. (MEW steht für Messbereichsendwert)

Schaltpunktgenauigkeit [% vom MEW]	± 5
Wiederholgenauigkeit [% vom MEW]	± 2

Max. Geschwindigkeit der Füllstandsänderung [mm/s]

100	bei LKX022
200	bei LKX023
300	bei LKX024

Das X steht für die diversen Typen, siehe 3.5.1.

3.5.5 Hinweise zum praktischen Einsatz

In 2.5.2 wurden schon allgemeine Hinweise, die direkt mit Funktionsprinzip zusammenhängen, gegeben. In diesem Kapitel stehen Hinweise, die sich auf die aktuellen Geräte beziehen und für diese spezifisch sind.

Seit der Hannovermesse 1999 vertreibt die ifm electronic die Füllstandssensoren der Bauform LK. Das Gerät wurde konzipiert für Applikationen in der Werkzeugmaschine, vornehmlich im Bereich Kühlschmiermittelaufbereitung und Überwachung von Hydrauliköl. Entsprechend dieser Spezifikation wurde das Sensormaterial ausgesucht, ein Kunststoff, der eine hohe Beständigkeit gegenüber aggressiven Medien aufweist.
Bei Applikationen, in denen andere Medien auftreten ist diese hohe Beständigkeit über die Zeit hinweg nicht mehr gewährleistet. Dies sind zum Beispiel Waschanlagen zur Entfettung von spanend bearbeiteten Werkstücken, als auch aggressive Medien wie Säuren und Laugen, sowie verschiedene andere Flüssigkeiten.

Darüber hinaus wurden aus Erfahrungen bei speziellen Applikationen schon Verbesserungen vorgenommen. Dies waren im einzelnen Ausfälle bei Vibrationen durch starke Medienbewegungen und unsichere Füllstandserkennung bei metallischen Anhaftungen. Beiden Problemen haben wir uns seitens der Entwicklung gestellt und entsprechende Optimierungen durchgeführt.

gesicherter Einsatz

Ein gesicherter Einsatz aller Füllstandsensoren LK ist gewährleistet in der Überwachung von Kühlschmiermitteln z.B. in der Werkzeugmaschine und der Überwachung von Ölen.

Was sind die technischen Hintergründe?

In den Schulungsunterlagen für Induktive Sensoren wurde, im Zusammenhang mit dem neuen efector$_m$, der auch bezüglich Dichtigkeit weiter verbessert werden konnte, ein Punkt herausgehoben:

es gibt keinen wasserdichten Kunststoff! Kunststoffe, wie zum Beispiel das verwendete Polypropylen (PP) für den Sensorstab haben die Eigenschaft, durchlässig für Wassermoleküle zu sein.
Diesen Vorgang bezeichnet man als Permeation. Je höher die Temperatur des Mediums ist, desto schneller dringt das Medium in den Sensorstab ein. Die eingedrungenen Wassermoleküle kondensieren im Stab wiederum zu Wasser. Dieses Wasser führt zu Korrosion des Leiterfilms. Das Ergebnis ist der Ausfall des Sensors. Im Gegensatz zu Wasser bestehen Öle chemisch gesehen aus langen Molekül-Ketten.
Auch bei hohen Temperaturen ist es diesen langen Molekül-Ketten nicht möglich, den Kunststoff des Sensorstabes zu durchdringen. Daher ist die Überwachung von Ölen mit dem LK bei Temperaturen von bis zu 80°C uneingeschränkt möglich.

Der Einsatz in Wasser und Wasser mit Reinigungsmitteln bei Temperaturen größer 30°C, führt unweigerlich zu einem Ausfall des Sensors. Aus diesen Erkenntnissen abgeleitet ergeben sich die folgenden, sicheren Einsatzgebiete des LK:

- Kühlschmiermittel (Öl / Wasseremulsionen) in einem Temperaturfenster von 0...30°C
- Öle in einem Temperaturfenster von 0...80°C

Alle anderen Applikationen bedürfen einer Beurteilung von unserem Applikationsteam in Tettnang. Bitte wenden Sie sich an Ihre zuständige Niederlassung oder fordern Sie hier Informationen an (per Internet, www.ifm.com).

Was sind die nächsten Schritte um weitere Applikationen zu erschließen?
Viele unserer Sensoren werden in Anlagen zur Reinigung von bearbeiteten Metallteilen eingesetzt. Das zu überwachende Medium ist hierbei Wasser mit Reinigungsmitteln. Die Temperatur in diesen Applikationen kann bis zu 70°C betragen.
Um in diesen Anwendungen eine langzeitstabile Füllstandsüberwachung anbieten zu können haben wir ein Klimarohr konzipiert, in das der LK eingeschoben wird. Zwischen dem Sensor und der Wandung des Klimarohres ist ein definierter Luftspalt. Wasser, das durch die oben beschriebene Permeation durch das Klimarohr dringt, entweicht wieder ohne den Sensor zu beeinträchtigen.
Für alle drei Längen der Sensoren werden entsprechende Klimarohre und Befestigungen geplant. Über die genaue Wirkungsweise, die entsprechenden Einsatzgebiete, Artikelnummern, Liefertermine und Preise sollten Sie sich informieren, siehe oben. Mit Einführung des Klimarohres erweitert sich der Einsatzbereich des LK auf Wasser und wasserbasierende Medien in einem Temperaturbereich von 0...70°C.

3.6 Zulassungen

Speziell für Füllstandsensoren ist der Einsatz als Überlaufsicherung nahe liegend. Dafür ist aber eine bestimmten Zulassung erforderlich. Die Bezeichnung für ein solches Gerät ist: Grenzschalter mit Zulassung gemäß Wasserhaushaltgesetz WHG §19 (LI2). Diese Zulassung wird vom Deutschen Institut für Bautechnik erteilt.

Zum aktuellen Stand, ob das Zulassungsverfahren eingeleitet wurde, läuft oder abgeschlossen ist, sollte bei www.ifm.com nachgefragt werden.

Damit ist die Beschreibung der Bauformen LI und LK abgeschlossen.

3.7 Schalter mit speziellen Eigenschaften

Im Folgenden geht es um die binären kapazitiven Sensoren.

3.7.1 Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

Verweis

Da dieses Thema ebenfalls (wie auch z. B. die CE-Kennzeichnung, siehe) vielen binären Positionssensoren gemeinsam und darüber hinaus auch für Fluidsensoren wichtig ist, wird es ebenfalls separat behandelt, siehe . Dort werden die einschlägigen Begriffe, Bezeichnungen, insbesondere die Kennzeichnung der Geräte, Normen usw. ausführlicher beschrieben.

Wichtig!

Der Sensorhersteller kann sich Geräte von den zuständigen Stellen prüfen und abnehmen lassen. Er kann aber keine Aussage treffen, welches Gerät in einem konkreten Anwendungsfall eingesetzt werden darf. Jeder Anwender ist selbst dafür verantwortlich, die Normen und Vorschriften zu kennen und korrekt anzuwenden.

Der Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen nicht nur in der chemischen Industrie, sondern z. B. auch in Farbspritzkabinen, in Mühlen oder in Tankanlagen, ist der älteste Anwendungsbereich für Sensoren überhaupt. Da in diesen Bereichen nur sehr kleine Spannungen verwendet werden dürfen, gibt es mit mechanischen Schaltern oft Probleme. In Sensoren hingegen entstehen betriebsmäßig keine Funken, Lichtbögen oder unzulässig hohen Temperaturen, so dass viele Ausführungen in bestimmten Ex-Zonen direkt einsetzbar sind.

Damit sind die Anforderungen an das Gerät schon kurz umschrieben. Es darf in keinem Fall, z. B. bei mechanischer Zerstörung eines Geräts, durch Kurzschluss über ein Bauteil, das elektrische Energie speichert, also Spule oder Kondensator, ein Funke entstehen, der eine Explosion auslösen kann.
Realisiert werden solche Anforderungen z. B. durch die Trennung in zwei Geräte. Der eigentliche Sensor oder das Sensorelement kann in den gefährdeten Bereich gesetzt werden. Der Schaltausgang befindet sich in einem separaten Schaltverstärker, der außerhalb dieses Bereichs angebracht sein muss.

KX

Weil kapazitive Sensoren auch häufig zur Kontrolle der Füllhöhe von Schüttgut, z. B. in Mehlsilos, eingesetzt werden, ist hier die Gefahr von Staubexplosionen ein wichtiges Thema. Mehlstaub, im richtigen Verhältnis mit Luft gemischt, ist ein sehr energiereiches explosives Gemisch.
Für diesen Einsatzfall bietet die ifm einen Sensor an, Typ KX. Hier folgt ein Auszug aus der technischen Dokumentation für Anwender, die es gewohnt sind, mit dem Thema umzugehen. Wer nicht damit vertraut ist, muss auf die verwiesen .Dort werden die Bezeichnungen ausführlicher erklärt.

Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß Klassifizierung
II 1D/G (Gruppe II, Kategorie 1D, Betriebsmittel für Staubatmosphäre)
(Gruppe II, Kategorie 1G, Betriebsmittel für Gasatmosphäre)
Die Anforderungen der Normen EN50014, EN 50020, EN50281-1-1, EN50284, EN 60947-5-6 werden erfüllt.
EG-Baumusterprüfbescheinigung

DMT 01 ATEX E020

Kennzeichnung

Ⓔx **II 1G EEx ia IIB T6 CE 0158** **II 1D IP65 T90°C**

Stand 09/02

3.7.2 Quadronormgeräte

Reststrom

Bei 2-Leitergeräten der früheren Generationen konnte der Reststrom Werte von einigen mA annehmen, bei denen eine zuverlässige Signalverarbeitung, z. B. durch die Eingänge einer SPS, nicht mehr gewährleistet war.

Polarität

Bei Halbleiterausgängen für Gleichstrom muss die Polarität beachtet werden. In vielen Ländern und Branchen sind pnp-schaltende Sensoren üblich. Sei es durch ein importiertes Steuergerät oder beim Export einer kompletten Anlage in Länder, in denen die andere Polarität gebräuchlich ist, sind die unterschiedlichen Polaritäten eine mögliche Fehlerquelle, besonders, wenn ein ausgefallener Sensor ersetzt werden muss. Z. B. trifft man in Japan noch häufig npn-Geräte an.

Schließer / Öffner

Es kommt häufig vor, dass zwei Geräte, die sich nur durch ihre Schaltfunktion unterscheiden und ansonsten völlig gleich sind, benötigt werden. Wenn es wirklich zwei Geräte sind, verdoppelt sich die Lagerhaltung an Ersatzgeräten. Außerdem ist der Ersatz eines ausgefallenen Gerätes eine mögliche Fehlerquelle. Speziell bei den Geräten mit Klemmenraum lässt sich die Schaltfunktion durch Auswahl der Anschlussklemmen bestimmen. Das ist bei den Standardgeräten aber nicht möglich.

Die Entwicklung der Quadronormgeräte stand unter der Zielsetzung, die oben genannten Punkte zu verbessern. Sie haben folgende Eigenschaften:
Reststrom in der Regel 0,4 - 0,6 mA
automatische Erkennung und Einstellung auf Polarität
Schaltfunktion wird durch Vertauschen der Anschlüsse invertiert.

Adernfarbe

Bei der farblichen Markierung der Adern mussten neue Wege beschritten werden, da die üblichen Farben, z. B. BN für L+, nicht verwendbar sind (vgl.).

3.7.3 Sonderbauformen

Eine spezielle Bauform wird als berührungsloser Schalter für Fußgängerampeln eingesetzt. Mechanische Schalter haben hier die üblichen Probleme wie Korrosion der Kontakte. Speziell das Eindringen von Wasser durch Beschädigung der Abdichtung oder Verspröden der Abdichtung durch Sonneneinstrahlung erfordern häufigere, kostspielige Wartungsarbeiten. Natürlich werden hier auch an kapazitive Sensoren besondere Ansprüche gestellt. Umgebungseinflüsse, speziell durch Wasser müssen besonders gut kompensiert werden, damit die Ampel nicht bei jedem Regen schaltet. Deshalb ist es auch besser, den Sensor mit der Handfläche zu berühren, die Fingerspitze wird möglicherweise nicht erkannt. Wegen ihrer Zuverlässigkeit werden dies Schalter in beträchtlichen Stückzahlen eingesetzt.

3.8 Kriterien für die Praxis

Übersicht

Die meisten der folgenden Punkte wurden oben schon ausführlich angesprochen. Zur besseren Übersicht werden sie hier noch einmal zusammengefasst und ergänzt.

Da Sensoren in Fertigungsprozessen in der Regel an ziemlich ungeschützten Stellen der Maschine eingesetzt sind, sind sie den starken Umweltbelastungen durch Hitze, Kälte, Stoß, Vibration, Staub, Feuchte, chemisch aggressiven Flüssigkeiten usw. unmittelbar ausgesetzt.

Sie müssen daher gegen Beeinträchtigung ihrer Funktion durch solche rauen Umgebungsbedingungen geschützt werden. In den Datenblättern werden Angaben über die Einsatzmöglichkeiten und die Umweltbedingungen gemacht, unter denen die Geräte problemlos eingesetzt werden können.

Umgebungstemperatur

Hiermit wird die Temperatur des den Sensoren umgebenden Mediums angegeben. Der hier eingeräumte zulässige Temperaturbereich beträgt vielfach schon -25° C bis +80° C. Innerhalb dieser Werte darf der Schalter beliebig lange betrieben werden.
Geringfügiges kurzzeitiges Über- oder Unterschreiten dieser Temperaturgrenzen wird von den Schaltern in der Regel ebenfalls toleriert. Das bedeutet, dass der Schalter nicht zerstört wird, dass sich aber der Schaltabstand innerhalb dieser Zeit über den zulässigen Bereich hinaus verändern kann. Für andere Temperaturbereiche stehen Sondergeräte zur Verfügung.

Schock- und Schwingbeanspruchung

Sensoren besitzen keine beweglichen Teile. Damit sind sie äußerst unempfindlich gegen Schock- oder Schwingbeanspruchung. Richtwert für die maximal zulässige Schockbeanspruchung ist die 30fache Erdbeschleunigung (30 g); Richtwert für die maximale Schwingbeanspruchung ist eine Frequenz bis zu 55 Hz bei einer Amplitude von 1 mm.

Fremdkörper und Staub

Kapazitive Sensoren können durch Staubablagerungen von elektrisch nicht leitfähigen Materialien beeinflusst werden. Das ist auf Grund des Messprinzips unvermeidbar. Die Kompensationselektrode (siehe 2.2.1) beim binären Sensor dient speziell zur Kompensation dieser Umgebungseinflüsse.
Wie oben beim automatischen Abgleich in 3.4 beschrieben wurde, lässt sich diesem Problem bei den Geräten der neueren Generation, den binären Füllstandsensoren, leichter und einfacher beikommen. Falls ein erneuter Abgleich zur Kompensation der Umgebung jedoch nicht zum Ziel führt, dann bleibt die Reinigung des Sensors als einzige Maßnahme.

Der analoge Füllstandsensor ist durch den Auswertungsalgorithmus, siehe 2.5.1, weitgehend unempfindlich gegen Fehlsignale auf Grund von Ablagerungen auf dem Messstab.

Zur Kennzeichnung der Dichtigkeit (des Schutzgrades, siehe) von elektrischen Betriebsmitteln wird eine international genormte Zahlenkombination verwendet, nach der die Hersteller von Sensoren die Dichtigkeit ihrer Geräte z. B. mit IP67 angeben. IP ist hierbei die Abkürzung für "international protection".
Die erste Ziffer gibt den Schutzgrad gegen Berührungen und Eindringen von Fremdkörpern an. Dabei bedeutet die 6 Schutz gegen Eindringen von feinstem Staub und vollständigen Berührungsschutz. Die zweite Ziffer der Schutzartenkennzeichnung gibt an, bis zu welcher Beeinflussung ein Sensor in feuchter, nasser Umgebung betrieben werden darf.

Feuchte und Wasser

Sensoren nach dem kapazitiven Prinzip können von Wasser, Feuchtigkeit, Nebel und Dämpfen in ihrer Funktionsweise beeinflusst werden. Gegenmaßnahmen sind oben bei "Fremdkörper und Staub" beschrieben.

Aus Sicherheitsgründen ist es jedoch wichtig zu wissen, wie gut ein Sensoren gegen das Eindringen von Feuchtigkeit in das Gerät geschützt ist. Dazu dient die zweite Ziffer der IP-Schutzartenkennzeichnung. Hierbei bedeutet z. B. die 7, dass ein Sensor so gegen das Eindringen von Wasser geschützt ist, dass er in 1 m Wassertiefe eine halbe Stunde aufbewahrt werden kann, ohne dass Wasser in schädlichen Mengen in ihn eindringt.

In der Regel werden Sensoren mit den Schutzartenklassifizierungen IP65 und IP67 angeboten. Geräte mit eingegossenem Kabel haben in der Regel die Schutzart IP 67. Bei Geräten mit Klemmenraum oder Steckern wird IP 65 angegeben. Diese können aber häufig auch unter Bedingungen eingesetzt werden, unter denen IP 67 erforderlich ist. Die Schutzart wird angegeben, weil sich durch Montagefehler, z. B. falsches Einlegen der Dichtung, ein verminderter Schutz ergeben kann.

Chemische Einflüsse

Immer wenn Umgebungsbedingungen vorliegen, in denen chemische Substanzen in fester, flüssiger oder gasförmiger Form die Umgebung des Sensors belasten können, muss sorgfältig geprüft werden, ob Gehäuse und Anschlussleitungen gegen diese Substanz ausreichend beständig sind. Die heute gebräuchlichen Kunststoffgehäuse aus glasfaserverstärktem Material bzw. die zusätzlich metallummantelten Geräte sind für den Einsatz auch in chemisch belasteten Umgebungen meistens geeignet. Für besonders schwierige Einsatzfälle werden auch Sondergehäuse aus korrosionsbeständigem Edelstahl bzw. aus PTFE angeboten.

Elektromagnetische Beeinflussung

Im Einsatzbereich von Sensoren, also in industriellen Umgebungen, treten elektromagnetische Störungen von sehr vielfältigem Aussehen und hohen Energiepegeln auf. Zum Beispiel durch Rundfunksender, durch Schaltvorgänge im Netz, durch das Abschalten induktiver Lasten oder auch durch Blitzeinschläge.
Solche elektromagnetischen Störungen können über das Sensorfeld in den Sensoren eingekoppelt werden. Wegen der im Vergleich zur Wellenlänge von Rundfunkwellen geringen Abmessungen des Sensors, besteht bei solchen periodischen Störungen eine sehr geringe Gefahr der Beeinflussung. Stoßartige Störungen von kurzer Dauer können schaltungstechnisch herausgefiltert werden, so dass sich eine insgesamt hohe Störfestigkeit für Sensoren ergibt.
Eine weitere Möglichkeit der Einkopplung von möglichen Störungen ist das Kabel. Bei ungünstiger Leitungsführung kann es vorkommen, dass die Zuleitung zum Sensoren als Empfangsantenne für Rundfunkwellen wirkt, oder dass über parallel geführte Leitungen mit einem hohen Störanteil zahlreiche stoßartige Störungen eingekoppelt werden.
Besonders die Weiterentwicklung von Frequenzumrichtern ergibt erhöhte Anforderungen. In Sonderfällen kann der Einbau eines Entstörfilters Abhilfe schaffen.
Grenzwerte für die Beständigkeit gegen diese Störungen werden durch die EMV-Richtlinien definiert (siehe). Bedingung dafür, dass die Geräte die obligatorische CE-Kennzeichnung tragen, ist das Bestehen einer Reihe von Tests. Dabei wird die Beständigkeit gegen definierte Störeinflüsse geprüft.
Wie oben erwähnt, siehe 2.2.2, reagieren kapazitive Sensoren der früheren Generation empfindlicher auf solche Einflüsse als z. B. induktive Sensoren. Durch neu entwickelte Messverfahren konnte diese Empfindlichkeit stark reduziert werden. Im Internet in der oder im sind sie mit der Eigenschaft "erhöhte Störfestigkeit" gekennzeichnet.

Sonstige Einflüsse

Im Vergleich zu anderen Sensortypen können kapazitive Sensoren durch Schall und Licht nicht in ihrer Funktion gestört werden. Nur gegenüber intensiver Röntgenstrahlung oder Radioaktivität ist ein Sensoren nicht immun.

4 Applikationsbeispiele

4.1 Übersicht

Haupteinsatzgebiet für Sensoren ist die Verwendung als Positionsschalter als Alternative zu mechanischen Positionsschaltern. Ein mechanischer Endschalter ist zwar preisgünstiger aber einem gewissen Verschleiß unterworfen.
Wenn er dann ausfällt, können ganze Anlagenteile, Transportbänder o. ä. für Stunden zum Stillstand kommen. Aus dieser Überlegung heraus ist es schon sinnvoll, an all diesen Stellen statt mechanischer Schalter berührungslos und verschleißfrei arbeitende elektronische Sensoren einzusetzen.

Bei Überwachungs- und Zählaufgaben wird das Produktionsgut direkt erfasst. Mit berührungslos arbeitenden Sensoren ist es möglich, auch schwierig erfassbare Güter wie Glas, Lebensmittel, Papier usw. zu erkennen.

Insbesondere kapazitive Sensoren können in der Füllstandsmesstechnik oder in der Füllstandskontrolle in der Prozesstechnik und der Verpackungsindustrie eingesetzt werden. Hiermit lassen sich Füllstände in Tanks und Silos überwachen, aber auch eine Stauüberwachung in Rohrleitungssystemen realisieren (z. B. in einer Mühle).
Weiterhin kann bei geeigneter Montage und entsprechender Einstellung von kapazitiven Sensoren die korrekte Füllmenge auch durch undurchsichtige Verpackungen festgestellt werden, z. B. Waschpulver in Pappkartons.

Der Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen der chemischen Industrie, in Mühlen oder in Tankanlagen, ist der älteste Anwendungsbereich für Sensoren überhaupt. Da in diesen Bereichen aber nur mit sehr kleinen Spannungen gearbeitet werden darf, gibt es für solche Applikationen Sensoren mit zusätzlicher Sicherheit: Sensoren der Bauform KX sind zum Einsatz in Zone 20 zugelassen.

Dies kann nur ein kurzer Überblick über die universelle Einsetzbarkeit von kapazitiven Sensoren sein. Viele Aufgaben in Bereichen, die nicht unmittelbar nahe liegend sind, erschließen sich vielfach dem Anwender erst bei der Konstruktion seiner Anlage.
Somit ergibt sich früher oder später bei der einen oder anderen Applikation allein durch das Wissen über die Funktion und die Eigenschaften von kapazitiven Sensoren die eine oder andere Problemlösung.

4.2 Beispiele

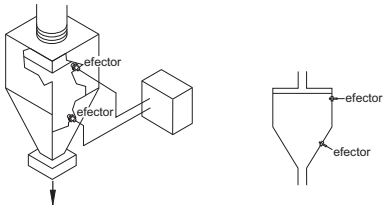


Abbildung 41: Füllstandsüberwachung 1

Zwei kapazitive Sensoren als Füllstandsmelder in einem Getreidesilo. Kontrolliert werden die minimale und die maximale Füllhöhe.

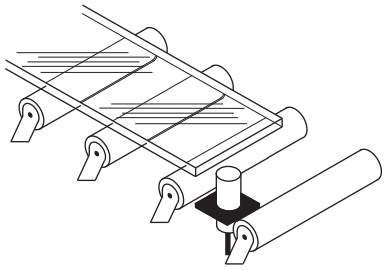


Abbildung 42: Glasplatten

Ein kapazitiver Sensor erfasst Glasplatten auf einem Rollgang.

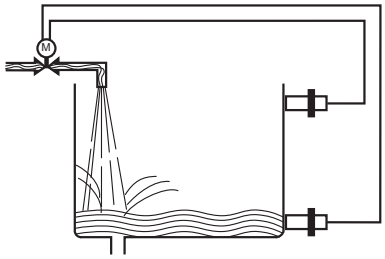


Abbildung 43: Füllstandsüberwachung

Durch die Behälterwand aus PVC hindurch erkennen die beiden kapazitiven Sensoren den Füllstand im Flüssigkeitsbehälter. Die Signale werden direkt zur Steuerung eines Ventils eingesetzt.

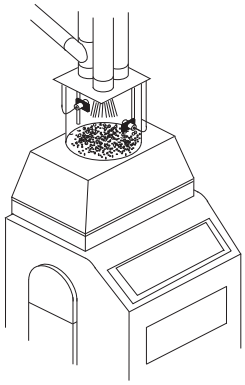


Abbildung 44: Füllstand 3

Kapazitive efectoren erfassen und überwachen den minimalen und maximalen Füllstand eines Mahlstuhles in einer Mühle. Die efectoren sind so eingestellt, dass sie nur auf das Mahlgut ansprechen, nicht auf die Behälterwand.

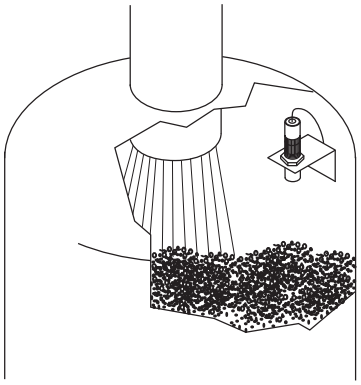


Abbildung 45: Füllstand mit KX

Wenn ein Sensor wie in Abbildung 45 in einem Getreidesilo eingesetzt wird, befindet er sich in einem explosionsgefährdeten Bereich (siehe 3.7.1). Wenn die entsprechenden Bedingungen vorliegen (siehe), ist die Verwendung der Bauform KX erforderlich.

5 Anhang

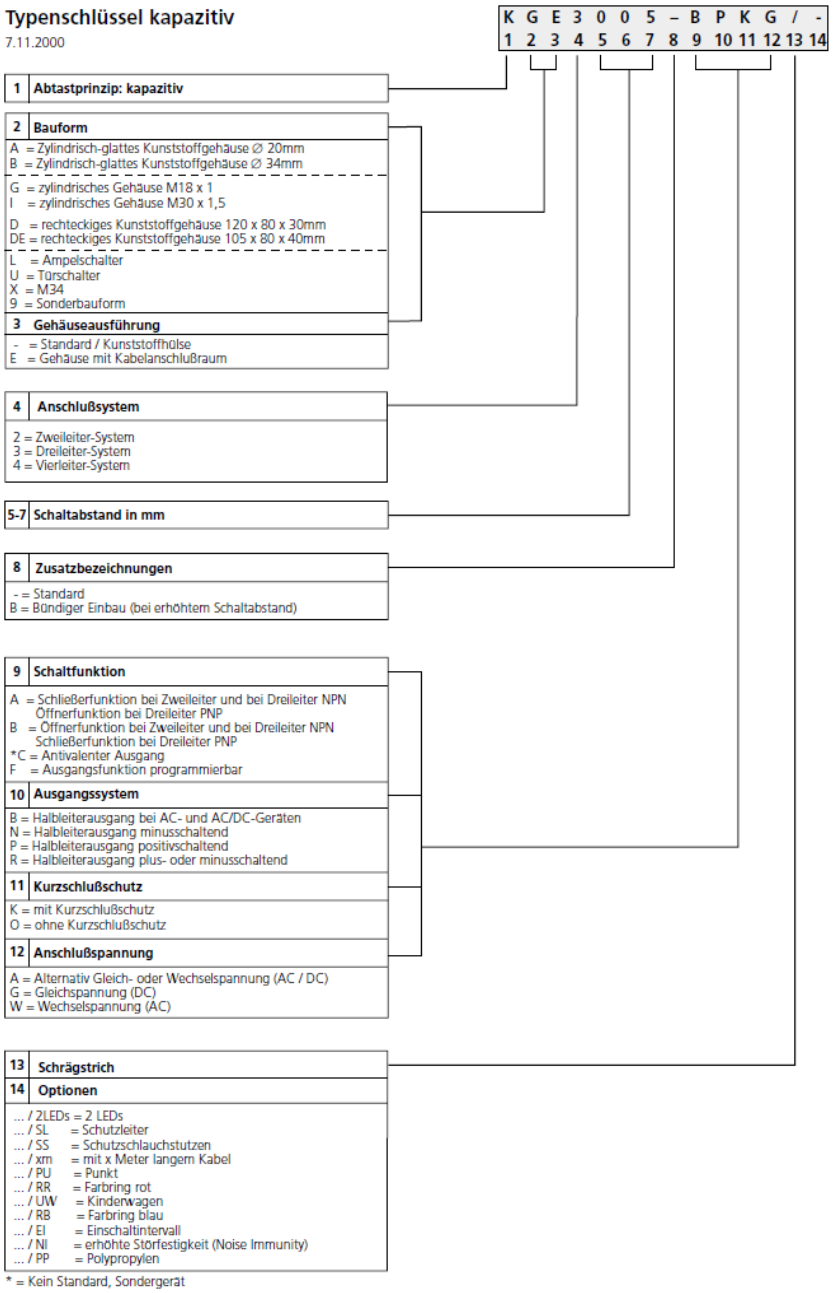
5.1 Pluspunkte

In der Regel kann man davon ausgehen, dass efectoren die angegebenen Daten nicht nur einhalten, sondern eher auf der sicheren Seite liegen. Normvorschriften werden nicht nur eingehalten, sondern eher übertroffen. IP 67 besagt z. B. dass das Gerät in 1 m Wassertiefe, während 30 min einwandfrei arbeitet (siehe).
Es gibt Einsatzfälle, bei denen efectoren ständig und problemlos in größeren Wassertiefen betrieben werden. Ein kapazitiver Sensor ändert in diesem Falle natürlich nur seinen Schaltzustand, wenn er sich nicht mehr im Wasser befindet. Auch Über- oder Unterschreitungen des angegebenen Temperaturbereiches -25° C bis + 80° C sind - in gewissen Grenzen natürlich - auch möglich (vgl. Schaltabstand bei .). Zugesichert werden kann natürlich nur die Einhaltung der im Datenblatt spezifizierten Werte.

Pluspunkte

Weitere Pluspunkte der ifm-Geräte sind:
Lieferfähigkeit
Zuverlässigkeit (5 Jahre Garantie bei Standardgeräten)
Störfestigkeit
Service (relativ großer Außendienst)
Befriedigung spezieller Wünsche (Sondergeräte)
Einsatz der SMD-Technik
vereinfachte Bedienung (neue Generation)

6 Typenschlüssel


Typenschlüssel kapazitiv
7.11.2000
K G E 3 0 0 5 – B P K G / -
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
1 Abtastprinzip: kapazitiv
2 Bauform
A = Zylindrisch-glattes Kunststoffgehäuse Ø 20mm
B = Zylindrisch-glattes Kunststoffgehäuse Ø 34mm
G = zylindrisches Gehäuse M18 x 1
I = zylindrisches Gehäuse M30 x 1,5
D = rechteckiges Kunststoffgehäuse 120 x 80 x 30mm
DE = rechteckiges Kunststoffgehäuse 105 x 80 x 40mm
L = Ampelschalter
U = Türschalter
X = M34
9 = Sonderbauform
3 Gehäuseausführung
- = Standard / Kunststoffhülse
E = Gehäuse mit Kabelanschlußraum
4 Anschlußsystem
2 = Zweileiter-System
3 = Dreileiter-System
4 = Vierleiter-System
5-7 Schaltabstand in mm
8 Zusatzbezeichnungen
- = Standard
B = Bündiger Einbau (bei erhöhtem Schaltabstand)
9 Schaltfunktion
A = Schließerfunktion bei Zweileiter und bei Dreileiter NPN
Öffnerfunktion bei Dreileiter PNP
B = Öffnerfunktion bei Zweileiter und bei Dreileiter NPN
Schließerfunktion bei Dreileiter PNP
*C = Antivalenter Ausgang
F = Ausgangsfunktion programmierbar
10 Ausgangssystem
B = Halbleiterausgang bei AC- und AC/DC-Geräten
N = Halbleiterausgang minusschaltend
P = Halbleiterausgang positivschaltend
R = Halbleiterausgang plus- oder minusschaltend
11 Kurzschlußschutz
K = mit Kurzschlußschutz
O = ohne Kurzschlußschutz
12 Anschlußspannung
A = Alternativ Gleich- oder Wechselspannung (AC / DC)
G = Gleichspannung (DC)
W = Wechselspannung (AC)
13 Schrägstrich
14 Optionen
... / 2LEDs = 2 LEDs
... / SL = Schutzleiter
... / SS = Schutzschlauchstutzen
... / xm = mit x Meter langem Kabel
... / PU = Punkt
... / RR = Farbring rot
... / UW = Kinderwagen
... / RB = Farbring blau
... / EI = Einschaltintervall
... / NI = erhöhte Störfestigkeit (Noise Immunity)
... / PP = Polypropylen
* = Kein Standard, Sondergerät

Stand: 2000

7 Kleines technisches Lexikon

Aktive Fläche

Die aktive Fläche ist die Fläche am Sensor, an der das elektrische Streufeld austritt, durch welches Material bei Annäherung erfasst wird.

Aktive Schaltzone

Die aktive Schaltzone ist der Bereich vor der aktiven Fläche, in dem der Sensor auf die Näherung von bedämpfendem Material reagiert, d.h. seinen Schaltzustand ändert.

Arbeitsschaltabstand Sa

Der Arbeitsschaltabstand ist jener Abstand, bei dem ein Sensor unter angegebenen Temperatur- und Spannungsbedingungen sicher funktioniert (s. auch Schaltabstand). Er stellt die untere Grenze des Nutzschaltabstands dar.

Bereitschaftsverzögerungszeit

Die Bereitschaftsverzögerungszeit ist die Zeit, die zwischen Anlegen der Betriebsspannung und Ausgabe des richtigen Schaltsignals vergeht. Innerhalb dieser Zeit muss sich die interne Spannungsversorgung stabilisieren und der Prozessor einen Selbsttest durchführen.
Der Ausgang wird in dieser Zeitspanne (bauartenspezifisch 5 ms bis über 200 ms) durch schaltungstechnische Maßnahmen gesperrt.

Betriebsspannung

Die Nennbetriebsspannung ist ein Spannungswert, für den ein elektrisches Betriebsmittel ausgelegt ist. Bei Sensoren ist es üblich einen Betriebsspannungsbereich anzugeben, der einen oberen und unteren Grenzwert festlegt. Innerhalb dieser Grenzwerte ist die Funktion des Sensors gewährleistet.
Bei Gleichspannungsgeräten ist darauf zu achten, dass die Restwelligkeit der Betriebsspannung in den Grenzwerten mit eingeschlossen ist.

Wenn die Restwelligkeit unter den Grenzwert der Betriebsspannung des Sensors sinkt, ist ein Glättungskondensator zu verwenden. Als Faustregel kann hierfür gelten: 1000 mF pro 20 Ampere Stromstärke.

Gehäusewerkstoffe

Metallgehäuse

Aluminium
Edelstahl*
Stahlblech verzinkt
Messing mit Optalloy (nickelfrei)*
Messing beschichtet mit PTFE (Safecoat)*

*: induktive Geräte
Edelstähle (rostfrei, V2A bzw. säurebeständig V4A)

V2A:	1.4305 (X10CrNiS 189)
	1.4301 (X2CrNiMo)
V4A:	1.4404 (X2CrNiMo 17132)
	1.4435 (X2CrNiMo 18143)
	1.4571 (X6CrNiMoTi 17122)

Kunststoffgehäuse

PBTP (Polybutylenterephtalat)

Das Gehäuse ist weitgehend beständig gegen aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, Öle, Fette, Hydraulikflüssigkeiten, Kraftstoffe; keine Spannungsrissbildung an Luft.
Das Gehäuse ist nicht beständig gegen heißes Wasser, heißen Dampf, Aceton, Halogenkohlenwasserstoffe, konzentrierte Säuren und Laugen.

Modifiziertes PPO

Das Gehäuse ist weitgehend beständig gegen verdünnte Mineralsäuren, schwache Laugen, einige Alkohole, Öle und Fette je nach Zusätzen.

chemisch beständige Fluorkunststoffe: PTFE (Polytetrafluoretylen)
LCP, PEEK, PEI, PA, Mod. PC

Kunststoffe weisen je nach Umgebungs- und Einsatzbedingungen unterschiedliche Beständigkeiten auf. Eine Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder die Eignung für einen bestimmten Einsatzzweck kann daher nicht gegeben werden.
Bei häufiger oder dauernder Einwirkung von Chemikalien ist bei allen Gehäusematerialien eine vorherige Einsatzprüfung notwendig.

Das beim Verguss verwendete Gießharz hat weitgehend vergleichbare Chemikalienbeständigkeit wie die efector-Gehäusekunststoffe. Bei unvergossenen efector$_m$ Geräten ist durch ihre Konstruktion der Schutz gegen Berührung des Mediums mit anderen als Gehäusematerialien weiter verbessert worden.

Hysterese

Die Hysterese ist die Wegdifferenz zwischen Ein- und Ausschaltpunkt des Sensors. Sie wird in Prozent - bezogen auf den unter gleichen Bedingungen gemessenen Einschaltpunkt - angegeben und dient dazu, das unkontrollierte Umschalten des Sensors zu verhindern, wenn das Objekt in der Nähe des Schaltpunktes steht ("Ausgangsflattern").

Kabelmaterial

PVC

Um Bruchgefahr zu vermeiden, dürfen Kabel aus PVC bei Temperaturen unter -15° C nicht mehr bewegt werden.

Korrekturfaktor (Sensoren)

Weicht der bedämpfende Gegenstand in Form, Werkstoff oder Materialdicke ab, so ergeben sich vom Normschaltabstand abweichende Schaltabstände. Sie lassen sich mit Hilfe von Korrekturfaktoren, die in den technischen Daten angegeben werden, berechnen. Folgende Faktoren müssen gegebenenfalls berücksichtigt werden:

Formfaktor

Wird anstelle der Messfläche eine kleinere oder eine Platte mit nicht quadratischer Form eingesetzt oder ist der bedämpfende Gegenstand nicht eben, so muss der Schaltabstand mit einem Formfaktor korrigiert werden.

Werkstofffaktor

Wird ein anderer Werkstoff verwendet, muss der Schaltabstand mit einem Werkstofffaktor korrigiert werden. Dieser ist bei kapazitiven Schaltern abhängig von der Dielektrizitätskonstanten des Werkstoffes.

Materialdickenfaktor

Wird eine Messplatte mit einer kleineren Dicke verwendet, so muss der Schaltabstand mit einem Materialdickenfaktor korrigiert werden. Dieser Faktor ist bei kapazitiven Schaltern ist der Faktor in der Regel kleiner als 1.

Kurzschlussschutz

Der Ausgang eines Sensors wird nach VDE 0160 als kurzschlussfest bezeichnet, wenn er einen Kurzschluss der Last bzw. einen Masseschluss am Ausgang dauerhaft ohne Schaden übersteht und nach Beseitigung des Schlusses ohne Schalthandlung wieder betriebsbereit wird.

Im Falle eines Kurzschlusses wird der Endtransistor sofort gesperrt. Nach Aufheben des Kurzschlusses ist das Gerät sofort wieder betriebsbereit. Ein Vertauschen der Anschlussleitungen führt nicht zur Zerstörung der Geräte. Geräte mit Kurzschlussschutz sind gleichzeitig überlastfest und verpolungssicher.

Mindestlaststrom bei 2-Leiter-Geräten

Der Mindestlaststrom ist der kleinste Strom, der im durchgeschalteten Zustand fließen muss, um einen sicheren Betrieb des Sensors zu gewährleisten.

Montagearten

Bei der Montage von induktiven Sensoren unterscheidet man zwischen bündigem und nicht bündigem Einbau.

Bündiger Einbau (f)

Die aktive Schaltfläche kann bündig abschließend in ein Medium eingebaut werden;

Nicht bündiger Einbau (nf)

Die aktive Schaltfläche muss von einem Freiraum umgeben sein.

Bei der Montage von Sensoren nebeneinander bzw. gegenüber müssen definierte bauformabhängige Mindestabstände eingehalten werden.

NAMUR	NAMUR ist die Abkürzung für Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie. Unter NAMUR-Schalter wird eine besondere Ausführung eines 2-Leiter-Gleichspannungsschalters nach DIN 19 234 verstanden, der für den Einsatz in explosionsgefährdeten Zonen geeignet ist. Aktuell gelten die ATEX-Richtlinien, siehe .
Nennschaltabstand Sn	Der Nennschaltabstand ist eine Gerätekenngröße, bei der Exemplarstreuungen und Abweichungen oder äußere Einflüsse wie Temperatur und Spannung nicht berücksichtigt werden; (s. auch Schaltabstand).
Nutzschaltabstand S	Der Nutzschaltabstand wird nach Meßmethode 1 der Norm EN 2050 010 und innerhalb der zulässigen Bereiche für die Betriebsspannung und die Umgebungstemperatur gemessen. Er muss zwischen 90 % und 110 % des Realschaltabstandes liegen; (s. auch Schaltabstand).
Öffnerfunktion	Ruhestromprinzip; befindet sich ein Gegenstand im Bereich der aktiven Schaltzone, ist der Ausgang gesperrt.
Programmierung	Bei einigen Bauformen kann die Ausgangsfunktion Schließer oder Öffner programmiert werden. Bei Sensoren erfolgt eine Programmierung der Ausgangsfunktion durch eine Drahtbrücke, einen Stecker oder durch Wahl der Anschlussbelegung, bei den Füllstandsensoren über Tasten.
Realschaltabstand Sr	Der Realschaltabstand eines Sensors ist der Schaltabstand, der bei Nennspannung und Nenntemperatur gemessen wird. Er muss zwischen 90 % und 110 % des Nennschaltabstandes liegen; (s. auch Schaltabstand).
Reststrom bei 2-Leiter-Geräten	Der Reststrom ist der Strom, der bei 2-Leiter-Geräten im Ruhezustand über das nichtgeschaltete Gerät fließt, um die Stromversorgung der Elektronik zu gewährleisten. Der Reststrom fließt immer auch über die Last.
Schaltabstand	Der Schaltabstand eines Sensors ist der Abstand, bei dem ein sich der aktiven Fläche axial nähernder Gegenstand einen Signalwechsel am Ausgang hervorruft; (siehe Korrekturfaktoren). Siehe auch: Nennschaltabstand, Nutzschaltabstand, Realschaltabstand und Arbeitsschaltabstand.
Schaltfrequenz	Die Schaltfrequenz ist die Grenzfrequenz, bei der jeder sich periodisch wiederholende Be- und Entdämpfungsvorgang des Sensors gerade noch sicher in ein Schaltsignal umgewandelt wird. Da die erreichbare Schaltfrequenz von einer Reihe von Einflussfaktoren abhängt, wird in der EN 60947-5-2 eine Norm-Messanordnung definiert, mit der Vergleichswerte gewonnen werden können. Im tatsächlichen Einsatz sind vielfach erheblich höhere Schaltfrequenzen möglich. Wird der Sensor mit einer hohen induktiven Last (Schütz, Relais, Magnetventile) über einen längeren Zeitraum und einer hohen Schaltfrequenz betrieben, so müssen zusätzliche Schutzmaßnahmen zum Abbau der Abschaltüberspannung vorgenommen werden (z.B. Freilaufdioden).
Schaltverzugszeit	Die Schaltverzugszeit ist die Zeit, die vom Einbringen des Objekts in die aktive Zone bis zum Schalten des Ausganges vergeht. Die Schaltverzugszeiten beim Be- und Entdämpfen können erheblich voneinander abweichen.

	Bei ifm-efectoren liegen diese Zeiten (bauartenspezifisch) in der Regel zwischen 0,2 und 1 ms für das Bedämpfen und 1 bis 15 ms für das Entdämpfen. Bei Geräten mit F-IC kann auch ein Verhältnis von 1:1 für diese beiden Zeiten erreicht werden.
Schließerfunktion	Arbeitsstromprinzip; befindet sich ein Gegenstand im Bereich der aktiven Schaltzone, ist der Ausgang durchgeschaltet.
Spannungsfall (Durchlassspannung)	Da der Schaltausgang des Sensors mit einem Halbleiterschalter (Transistor, Thyristor, Triac) ausgestattet ist, tritt im eingeschalteten Zustand ein (geringer) Spannungsfall (gelegentlich auch als Spannungsabfall bezeichnet) in Reihe zur Last auf. Bei der Zweileitertechnik dient der Spannungsfall gleichzeitig dazu, die Elektronik des Sensors mit Energie zu versorgen. Die Höhe des Spannungsfalls hängt vom Typ ab und liegt zwischen 2,5 V (DC) und 6,5 V (AC/DC).
Stromaufnahme bei 3-Leiter-Geräten	Die Stromaufnahme ist der Eigenstromverbrauch des Sensors im gesperrten Zustand. über den Ausgangstransistor fließt bei gesperrtem Ausgang ein sehr geringer Leckstrom von ca. 0,1 mA (open-collector).
Strombelastbarkeit/Dauer	Die Dauerstrombelastbarkeit gibt den Strom an, mit dem ein Sensor im Dauerbetrieb belastet werden kann.
Strombelastbarkeit/Kurzzeit	Die Kurzzeitstrombelastbarkeit gibt den Höchstwert des Stromes an, der für eine bestimmte Zeit im Einschaltmoment fließen darf, ohne den Sensor zu zerstören. Besonders Wechselspannungsgeräte sind so ausgelegt, dass sie wegen hoher Einschaltströme von vielen Wechselstromlasten (Signallampen, Schütze, ...) kurzzeitig mit dem sechsfachen Nennstrom belastet werden können.
Temperaturgang / Schaltpunktdrift	Unter Schaltpunktdrift versteht man die Verlagerung des Schaltpunktes bei Veränderung der Umgebungstemperatur.
Überlastfestigkeit	Der Ausgang eines Sensors wird überlastfest genannt, wenn er alle Ströme zwischen Nennlaststrom und Kurzschlussstrom ohne Schaden dauerhaft führen kann.
Umgebungstemperatur /Temperaturbereich	Der Temperaturbereich gibt an, bei welchen Temperaturen Sensoren eingesetzt werden können. Dies ist bei ifm- efectoren in der Regel der Bereich von -25° C bis +80° C.
Verpolungsfestigkeit	Wenn die Anschlüsse eines Sensors beliebig vertauscht an die vorgesehenen Klemmen angeschlossen werden können, ohne dass der Schalter dabei Schaden nimmt, wird er verpolungsfest genannt. In der Regel müssen verpolungssichere Schalter in Dreileitertechnik kurzschlussfest sein, da eine Vertauschung des Ausganges und des Masseanschlusses (0 V) sonst zur Zerstörung führen würde.
Vorbeifahrgeschwindigkeit	Denkt man sich das Be- und Entdämpfen des Sensors durch eine einzelne Messplatte hervorgerufen, die mit hoher Geschwindigkeit durch die aktive Zone bewegt wird, so gibt es eine obere Grenze der Vorbeifahrgeschwindigkeit, bei der gerade noch ein sicheres Schaltsignal ausgegeben wird.

Wiederholungsgenauigkeit	Auch Reproduzierbarkeit. Das ist die Differenz zweier Schaltabstandsmessungen, die unter genormten Bedingungen über eine Dauer von 8 Stunden durchgeführt werden. Sie wird in Prozent bezogen auf den Realschaltabstand angegeben. Die Differenz zweier beliebiger Messungen darf 10 % des Realschaltabstandes nicht überschreiten.

E N D E